

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
katedra robototechniky

**Návrh asistenčního robotu pro osazování dveří a
manipulaci s nimi**

**The design of Robot Assistant for Door
Shouldering and Handling**

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Petr Kopec
prof. Ing. Jiří Skařupa, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Kopec

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T013 Robotika

Téma:

Návrh asistenčního robota pro osazování dveří a manipulaci s nimi
The Design of Robot Assistant for Door Shouldering and Handling

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí robota.
2. Vypracujte konstrukční návrh vybrané varianty a rozpracujte do úrovně sestavných výkresů s využitím CAD systému Pro/ENGINEER.
3. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnotte dosažené výsledky.
4. Závěr.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

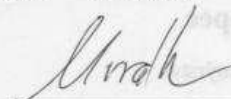
- [1] SCHRAFT, R., D. - SCHMIERER, G. Serviceroboter: Produkte, Szenarien, Visionen. Springer Verlag, Berlin, New York, etc., 1998.
- [2] SKAŘUPA, J. - MOSTÝN, V. Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0
- [3] KÁRNÍK, L. Servisní roboty. VŠB-TU, Ostrava: 2004, 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

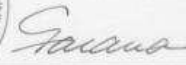
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Skařupa, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

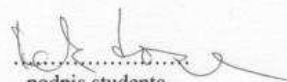


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23. 5. 2011


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23. 5. 2011



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Kopec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zátiší 1766, Rychvald 735 32

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOPEC, P. *Návrh asistenčního robotu pro osazování dveří a manipulaci s nimi: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra robototechniky 2011, 94 s. Vedoucí práce: Skařupa, J.

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí asistenčního robotu pro osazování dveří a manipulaci s nimi. Součástí práce je analýza trendů v této oblasti, následné vyhodnocení a návrh řešení pomocí výsledků analýz z programu TechOptimizer 3.0. Výsledná varianta je zkonstruována ve 3D a rozpracována do úrovně sestavných výkresů s využitím CAD systému Pro/Enginner, Inventor a AutoCAD 2010. Základní návrhové a kontrolní výpočty jsou uvedeny ve výpočtové zprávě. Části návrhových a kontrolních výpočtů realizovaných v programu MITCalc je z důvodu větší přehlednosti uvedena v příloze, která je součástí této práce. V závěru práce je uvedeno zhodnocení dosažených výsledků.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KOPEC, P *The Design of Robot Assistant for Door Shouldering and Handling: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering Department of Robotics 2011, 94 p. Thesis Head: Mr. Skařupa, J.

This work deals with design and construction of robot assistant for door shouldering and handling. The part of work is analysis of trends in this area, subsequent evaluation and suggestion of new solution with using the results of the analysis in program TechOptimizer 3.0. The final variant is designed in 3D and developed to the level of assembly drawings using CAD system Pro/Enginner, Inventor and AutoCAD 2010. Basic design and check calculations are given in the drawn up technical report. The parts of the design and check calculations implemented in the program Mitcalc are with the view of a greater clarity listed in annex which is the part of this work. The assessment of achievements is in the conclusion of the Master Thesis.

Obsah

Seznam použitého značení.....	9
Úvod	12
1. Úvod do problematiky	13
1.1 Prostředí pro vykonávání funkce	13
1.2 Parametry dveří	15
1.3 Parametry zárubní a pantů.....	18
1.4 Analýza současného stavu osazování dveří	20
2. Přehled stávajících zařízení	21
2.1 Door Jak 100	21
2.2 HH Intellitech GLASLIFT 250	22
2.3 DOORMINATOR USA	23
2.4 Door Jak 50	24
2.5 UPG DOOR JACK	24
3. Závěr rešerše	25
4. Požadavkový list.....	26
5. Výběr optimální varianty v programu TechOptimizer.....	26
5.1 Varianta A – HH Intelitech GLASLIFT 250	27
5.1.1 Vstupní parametry analýzy	28
5.1.2 Funkční model.....	28
5.1.3 Svinování A.....	29
5.1.4 Výsledky analýzy	30
5.2 Varianta B – DOORMINATOR USA	32
5.2.1 Vstupní parametry analýzy	32
5.2.2 Funkční model.....	33
5.2.3 Svinování B	33
5.2.4 Výsledky analýzy	34
5.3 Varianta C – Door Jak 100.....	36
5.3.1 Vstupní parametry analýzy	36
5.3.2 Funkční model.....	37
5.3.3 Svinování C.....	37
5.3.4 Výsledky analýzy	38
5.4 Výběr optimální varianty	40
5.5 Funkce zařízení	40
5.6 Konstrukční vylepšení.....	41
5.6.1 Efekty programu TechOptimizer 3.0	41
5.6.2 Goldfire Innovator - hledání znalostí	42
5.7 Metoda morfologické matice	43
6. Analýza nového zařízení.....	44
6.1 Popis zkonstruované varianty	44

6.2	Kriteriální hodnocení	45
6.3	Nová struktura - TechOptimizer	47
6.3.1	Vstupní parametry analýzy	47
6.3.2	Funkční model.....	47
6.3.3	Svinování	48
6.3.4	Výsledky analýzy	51
7.	Popis komponentů a funkcí.....	52
7.1	Rám	52
7.2	Pohon.....	53
7.3	Polohování všesměrových kol.....	54
7.4	Polohování efektoru	56
7.5	Efektor.....	58
7.6	Kryty	62
7.7	Baterie	62
7.8	Senzorické vybavení a orientace robotu	63
8.	Návrhové a kontrolní výpočty základních konstrukčních prvků.....	65
8.1	Návrh pohonu.....	65
8.2	Polohování všesměrových kol.....	70
8.3	Polohování efektoru v ose x	72
8.4	Polohování efektoru v ose z	75
8.5	Výpočet úchopné síly	79
8.6	Návrh a kontrola základních konstrukčních uzlů.....	82
9.	Servisní požadavky	87
9.1	Údržba	87
9.2	Přeprava.....	87
10.	Závěr	88
11.	Seznam použité literatury	90
12	Seznam příloh.....	94

Seznam použitého značení

Značka	Jednotka	Popis
a	m/s^2	zrychlení robotu
C	N	dynamická únosnost lineárního vedení
C_0	N	statická únosnost lineárního vedení
C_{0a}	N	statická únosnost kuličkového šroubu
C_a	N	dynamická únosnost kuličkového šroubu
C_{la}	N	dynamická únosnost ložiska
d_1	mm	průměr závitů
F	N	součinitel valivého odporu povrchu
F_{A1}	N	síla aktuátoru
F_{a1}	N	axiální zatížení během rovnoměrného pohybu
F_{A2}	N	síla aktuátoru
F_{a2}	N	axiální zatížení během zrychlení
F_{a3}	N	axiální zatížení během brzdění
F_{a4}	N	axiální zatížení během dopředného zrychlení
F_{a5}	N	axiální zatížení během zpětného zrychlení
F_{am}	N	průměrné axiální zatížení
F_c	N	celková síla
F_f	N	valivý odpor
F_g	N	tíhová síla
F_h	N	síla potřebná pro pohyb robotu
f_k	-	součinitel valivého odporu kola
f_{ka}	-	součinitel tření
F_{\max}	N	maximální síla
F_s	N	odpor stoupání
F_S	N	statická síla
f_s	-	statický koeficient bezpečnosti
f_w	-	zátěžový koeficient
F_z	N	odpor zrychlení
G	m/s^2	tíhové zrychlení
h	mm	výška rampy
I	kg/m^2	moment setrvačnosti vřetene

i_c	-	celkový převod mezi motorem a hnacími koly
J_{ki}	kg/m^2	hmotnostní moment setrvačnosti hnaného kola
J_{ki2}	kg/m^2	moment setrvačnosti hnaných kol
J_m	kg/m^2	hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí
J_{m2}	kg/m^2	moment setrvačnosti pohonné jednotky
J_p	kg/m^2	hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí převodového ústrojí
J_{p2}	kg/m^2	moment setrvačnosti převodovky
k_f	-	koeficient bezpečnosti
l	mm	délka rampy
L	km	jmenovitá životnost
l_a	mm	vzpěrná délka šroubu
l_s	mm	zdvih lineárního vedení
L_s	hod	životnost kuličkového šroubu
M_a	Nm	moment v ose x
M_b	Nm	moment v ose y
m_c	kg	celková hmotnost
M_c	Nm	moment v ose z
M_K	Nm	moment na výstupu převodovky
M_{KM}	Nm	moment motoru
m_{OM}	kg	hmotnost objektu manipulace
m_r	kg	hmotnost robotu
M_r	kg/m^2	moment setrvačnosti rotačních částí
M_T	Nm	teoretická hodnota momentu
n	min^{-1}	otáčky na výstupu převodovky
N_1, N_2	N	normálová síla
n_k	-	koeficient instalace
n_m	min^{-1}	otáčky motoru
P_{0a}	N	statická únosnost ložiska
P_l	N	zatížení vozíku THK během rovnoměrného pohybu
P_{1a}	N	zatížení vozíku THK během zrychlení
P_{1aE}	N	kombinované radiální zatížení vozíku THK během zrychlení
P_{ld}	N	zatížení vozíku THK během brzdění
P_{ldE}	N	kombinované radiální zatížení vozíku THK během brzdění

P_{1E}	N	kombinované radiální zatížení vozíku THK během rovnoměrného pohybu
P_H	W	výkon pohonné jednotky
P_m	N	průměrné zatížení
r	mm	poloměr poháněného kola
R_1	N	reakce
R_2	N	reakce
r_d	mm	dynamický poloměr kola
T_1, T_2	N	třecí síla
U	N	síla úchopu
v	m/s	rychlost robotu
α	°	úhel stoupání rampy
ε	rad/s ⁻²	úhlové zrychlení
η	%	mechanická účinnost
ϑ	-	součinitel vlivu rotačních částí
ω	rad/s	úhlová rychlost

Úvod

V současné době většina firem používá zavedený způsob osazování dveří, který se do značné míry jeví jako náročný a neefektivní. Návrhem zařízení určeného na osazování dveří a manipulaci s nimi se má odstranit těžká monotónní práce, při které pracovníci firem zabývající se touto činností vykazují velkou nemocnost (bolest a poškození zad – svalů, plotének aj.) a jsou s ní následně spojeny i náklady zaviněné nízkou produktivitou. Zařízení má smysl uplatnit při výstavbě nebo rekonstrukci škol, hotelů, nemocnic a administrativních budov, kde je zhruba 500 dveří a více. Účelovou funkcí tedy je osazovat dveře a manipulovat dveřmi při osazování. Zařízení bude vykonávat činnost v rámci dokončovacích prací výstavby, čímž se odstraní nutnost překonávání možných překážek.

Na světovém trhu v dnešní době není mnoho výrobců zabývajících se výrobou takového zařízení, většina se zaměřuje na více účelné přípravky použitelné jen pro určitou dílčí funkci, nebo naopak je zařízení multifunkční a použitelné i pro jiné aplikace, což se ovšem promítne na pořizovacích nákladech. Zařízení orientovaná přímo na manipulaci a osazování dveří jsou určena zejména pro zahraniční trh, kde jsou odlišné parametry budov, typy dveří a způsob osazování dveří, čímž se zařízení stávají pro tuzemský trh nevhodná.

Cílem řešení je analyzovat trendy současného trhu v oblasti osazování interiérových dveří a navrhnout funkční, uživatelsky přívětivé zařízení, které by cílové skupině poskytlo přínos v podobě zvýšené produktivity a odstranění problémů vyplývajících z fyzicky náročné monotónní práce.

1. Úvod do problematiky

1.1 Prostředí pro vykonávání funkce

V současnosti, ale zajisté tak tomu bude i v budoucnu, se realizují výstavby nebo rekonstrukce škol, hotelů a administrativních budov, u kterých se uplatňuje mnoho druhů architektonických směrů. Proto je nutné najít společné rysy a zákonem stanovené normy těchto typů budov, ze kterých se dále může vycházet při navrhování rozměrů a parametrů zařízení. Zde je nutné vymezit, na co se dále uvedená vyhláška o technických požadavcích stavby vztahuje – jedná se o pobytovou místnost definovanou jako místnost nebo prostor, který svou polohou, velikostí a stavebním uspořádáním splňuje požadavky k tomu, aby se v něm zdržovaly osoby (například kanceláře, dílny, ordinace, výukové prostory, pokoje ve zdravotnických zařízeních, hotelích a ubytovnách, halové prostory různého účelu, sály kin, divadel a kulturních zařízení, místnosti ve stavbách pro individuální rekreaci) [16].

Jednou ze základních norem pro stavby školních, předškolních, hotelových, nemocničních a administrativních zařízení využitelných v tomto případě je:

- 1) Nejmenší světlé výšky místností a prostorů musí být
 - a) 3300 mm u základních, středních, vyšších a speciálních škol: při dodržení všech podmínek denního osvětlení na pracovní plochy je možné snížení na světlou výšku 3000 mm, pokud je dodržena kubatura vzduchu 5,3 m³ na jednoho žáka,
 - b) 2600 mm v obytných a pobytových místnostech,
 - c) 2500 mm u šaten.
- 2) Nejmenší světlá šířka chodby ve školách musí být 3000 mm, jsou-li výukové prostory umístěny po obou stranách chodby, a 2200 mm, jsou-li výukové prostory jen na jedné straně chodby. Slouží-li tato chodba jako hlavní komunikační spojení, pak musí být široká nejméně 3000 mm.
- 3) Hlavní domovní komunikace v budovách s obytnými nebo pobytovými místnostmi musí umožňovat přepravu předmětů o rozměrech 1950 x 1950 x 800 mm; u staveb, ve kterých je zajišťována zdravotní a sociální péče, musí být tento rozměr 1950 x 1950 x 900 mm. Uvedený požadavek se nevztahuje na rodinné domy a stavby pro individuální rekreaci. [16]

Z těchto obecných technických požadavků na stavby je možno limitovat některé parametry navrhovaného zařízení, a to zejména světlou šířku a pracovní prostor, ve kterém bude manipulováno prostorově náročným objektem. Osazování dveří je klasifikováno jako činnost prováděná v rámci dokončovacích prací, tímto se předpokládá absence překážek a hrubých nečistot. Dále je nutné zamyslet se nad dopravou zařízení k místu plnění funkce. Při opakovaném pohledu na společné rysy budov předpokládaných k použití tohoto zařízení je předepsán určitý typ výtahu. Proto je důležité stanovit zvláštní požadavky na výtahy ve vztahu k charakteru budovy, které mohou dále ovlivnit parametry zařízení.

Základní požadavky na výtahy ve vztahu k charakteru budovy lze stanovit z obecných technických požadavků na výstavbu.

- Stavby se podle druhu a potřeb vybavují osobními, popřípadě nákladními, požárními a evakuačními výtahy.
- Výtahy se musí zřizovat v bytových domech s více než čtyřmi nadzemními podlažími. U nástaveb a vestaveb bytových domů s byty v pátém nadzemním podlaží se výtahy nemusí zřizovat, ani existující výtahy do tohoto podlaží prodlužovat.
- Ve stavbách s více než třemi nadzemními podlažími, ve kterých se trvale nebo pravidelně vyskytuje více než 10 osob s omezenou schopností pohybu a orientace nebo osob neschopných samostatného pohybu, musí být zřízeny evakuační výtahy. V ostatních budovách se evakuační výtahy zřizují v závislosti na normových hodnotách.
- Ve stavbách vyšších než 45 m musí být vnitřní zásahové cesty vybaveny požárním výtahem
- Stavby určené pro shromažďování většího počtu osob musí být vybaveny evakuačními výtahy kromě případů, kde východ z podlaží na volné prostranství je veden po rovině nebo po rampě. [16]

Rozměrové a hmotnostní parametry výtahů:

Výtahová kabina osobního výtahu musí mít rozměry nejméně 1100 x 1400 mm, při stavebních úpravách a změnách v užívání stavby nejméně 900 x 1200 mm, u evakuačních a požárních výtahů nejméně 1100 x 2100 mm. Vstupní dveře nebo otvor výtahu a výtahové kabiny musí mít šířku nejméně 800 mm. Požadavky na rozměry výtahové kabiny, šíři dveří, volný prostor před výtahem a na vybavení výtahu stanovené zvláštním předpisem tím nejsou dotčeny.

Při rekonstrukci stávajících budov, kde výtah zůstává zachován, jsou nejčastější půdorysné rozměry 800 x 1100 mm a nosnost je min. 250 kg, výtah je určen pro 3 osoby. U výše zmíněného osobního výtahu realizovaného v novostavbě je nosnost 630 kg a výtah je určen pro 8 osob. Pro rekonstruované výtahy je dána minimální nosnost 450 kg. Světla výška dveřního rámu výtahu je 2100 mm. Zmíněné parametry výtahů jsou získány konzultací s firmou VÝTAHY OSTRAVA spol. s r. o. a vycházejí z praxe.

Získáním rozměrů a nosnosti výtahových klecí je možné odvodit další limitní parametry zařízení, zejména půdorysné rozměry a celkovou hmotnost.

1.2 Parametry dveří

Základní požadavky

Dveře patří mezi základní konstrukční prvky budov, které uzavírají průchodný otvor a jsou sestaveny z pevné nosné nebo vodící konstrukce zárubně, z pohyblivého křídla, prahu, kování a těsnění.

Základní funkcí dveří jako otvorových výplní budov je:

- komunikační, případně i vizuální spojení dvou prostor,
- vzájemné oddělení prostor se stejným nebo různým klimatem, s různými požadavky na prostředí v závislosti na využití prostor.

Rozdílnost požadavků a vlastností prostor vyžaduje různorodost a variabilitu konstrukčního řešení dveří. Podrobný výpis rozdělení dveří je uveden v příloze A, zde jsou uvedeny pouze parametry potřebné k sestavení požadavkového listu.

Podle polohy závěsů rozeznáváme dveře:

- pravé (závěsy otočného křídla se při pohledu ze strany závěsů nacházejí na pravé straně; dveře jsou opatřeny pravými závěsy a pravým zámkem),

- levé (závěsy otočného křídla se při pohledu ze strany závěsů nacházejí na levé straně),
- dvoukřídle dveře, které se určují za stejných podmínek podle trvale otvíraného dveřního křídla.

Podle technologie osazení dveří:

- zárubeň se osazuje v rámci hrubé stavby, dveřní křídlo v rámci dokončovaných prací,
- osazení zárubně a dveřního křídla probíhá v rámci dokončovacích prací (skládání zárubně),
- osazení proběhne pomocí osazovacího rámu, který se osadí v rámci hrubé stavby, po dokončení povrchových úprav se osadí zárubeň dveří s dveřním křídlem.

Otevírání dveří a jejich šířka

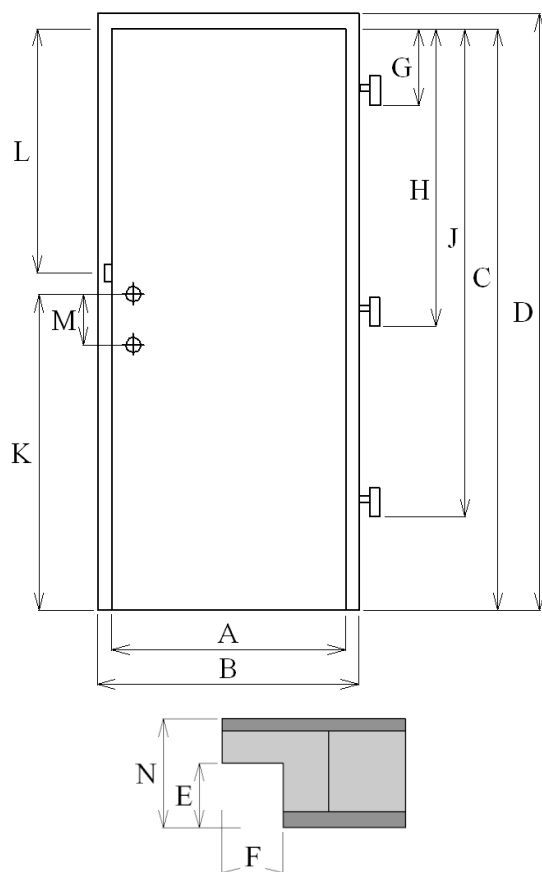
Otevírání dveří nesmí překážet provozu, dveře otvíráme z menších prostor do větších. Dveře do prostor s menší hloubkou než 1400 mm, otvíráme směrem ven. V prostorách, ve kterých se zdržuje 10 osob a víc se otvírají ven z místnosti ve směru únikových cest, k požárnímu výtahu, schodišti nebo samotnému východu. Otvírání dveří do komunikačních prostor nesmí ohrožovat chodce, zádveří musí mít minimální šířku 1400 mm.

Rozměr dveří vyplývá z funkce uzavíraného prostoru, v závislosti na možném úniku před požárem, počtu a velikosti přepravovaných předmětů. Rozměry jsou uvedeny v normách, které se týkají příslušných druhů budov. Rozměrem dveří rozumíme světlou výšku a šířku dveřního otvoru.

- Základní rozměrovou jednotkou pro určení šířky dveří je šířka průchodného proudu 600 mm, která odpovídá minimální světlé šířce dveří a navrhuje se do malých skladovacích prostor bytu a do WC.
- Světla šířka 800 mm se navrhuje do obytných prostor, kanceláří, do sociálních zařízení v občanských budovách.
- Dveře se světlou šířkou 900 mm se navrhují jako vchodové dveře do rodinného domu, do učeben, do únikových cest a prostor, kde se zdržuje méně než 20 osob.
- V nemocnicích se navrhují dveře se světlou šířkou 1100 mm (hmotnost - 26,5 kg).
- Nejmenší dvoukřídlové dveře mají světlou šířku 1200 mm.
- Světla výška dveří je 1970 mm, vchodových 2150 mm a celoprosklených 2050 mm.

Směr otevírání dveří se dá přizpůsobit stavební koncepci budovy i v průběhu výstavby, po domluvě s projektantem a schválení požárním technikem.

Rozměry a geometrické přesnosti



Obr. 1

	Hodnota	Tolerance
A	620	± 2
	720	
	820	
	920	
	1120	
B	650	± 2
	750	
	850	
	950	
	1150	
C	1970	$\pm 2,5$
D	1983	$\pm 2,5$
E	26	$\pm 0,5$
F	13	± 1
G	195	± 1
H	970	± 1
J	1745	
K	1050	
L	895	
M	72	
N	40	± 1
(hodnoty jsou v mm)		

Tab. 1- Tolerance ^[15]

Jak je patrné (**obr. 1 a tab. 1**), u dveří jsou dovolené odchylky v určité toleranci, podrobnější výpis viz příloha B – geometrické odchylky, které je vhodné zahrnout při konstrukci z důvodu eliminace nežádoucích odchylek při polohování samotného zařízení.

Po osazení dveří vzniká vzdálenost spodní části dveří od podlahy po celé délce hrany dveří $10 \pm 2\text{mm}$ [15]. Ve většině případů se dveře osazují bez kování, to se montuje dodatečně.

Rozměrové parametry dveří jsou stanoveny normou. Vybrané typy dveří v níže uvedené tabulce (**tab. 2**) jsou nejčastěji používané ve školních a administrativních budovách. Tyto informace a hmotnostní parametry jsou získány konzultací s firmou Topdoors, s.r.o., zabývající se výrobou a montáží dveří. Značení PO v názvu dveří znamená protipožární, u tohoto typu dveří je vyžadována montáž prahu.

Hmotnosti dveří dle typu a rozměru:

Typ dveří	600 mm	700 mm	800 mm	900 mm
Plné hladké	13 kg	14,5 kg	16 kg	17 kg
Hladké – sklo 1/3	15 kg	17 kg	18,5 kg	20 kg
Hladké – sklo 2/3	16 kg	18 kg	20 kg	22 kg
Plné hladké PO	22 kg	26 kg	29 kg	36 kg
Claudius	17 kg	19 kg	21 kg	23 kg
Socrates	19 kg	21 kg	23 kg	26 kg
Octavianus	22 kg	25 kg	28 kg	31 kg
Claudius PO	32 kg	37 kg	42 kg	47 kg

Tab. 2 – Hmotnosti dveří v závislosti na typu**1.3 Parametry zárubní a pantů****Základní technické údaje****Rozměry zárubní:**

Základní rozměry zárubní jsou dány světlou výškou, která je u typizovaných zárubní dle normy vždy 1970 mm, pokud není stanoveno jinak.

Ocelové zárubně se standardně vyrábějí v průchozích šířkách 600, 700, 800, 900, 1100 mm pro jednokřídlé dveře a 1250, 1450, 1600 mm pro dvoukřídlé dveře. Jiné rozměry jsou atypické. [13] Stejně jako u dveří se dělí na pravé a levé.

Použité materiály:

Ocelové zárubně se vyrábějí ze speciálních otevřených profilů, které jsou zhotoveny z černého, případně pozinkovaného plechu o tloušťce min. 1,5 mm.

Konstrukční provedení:

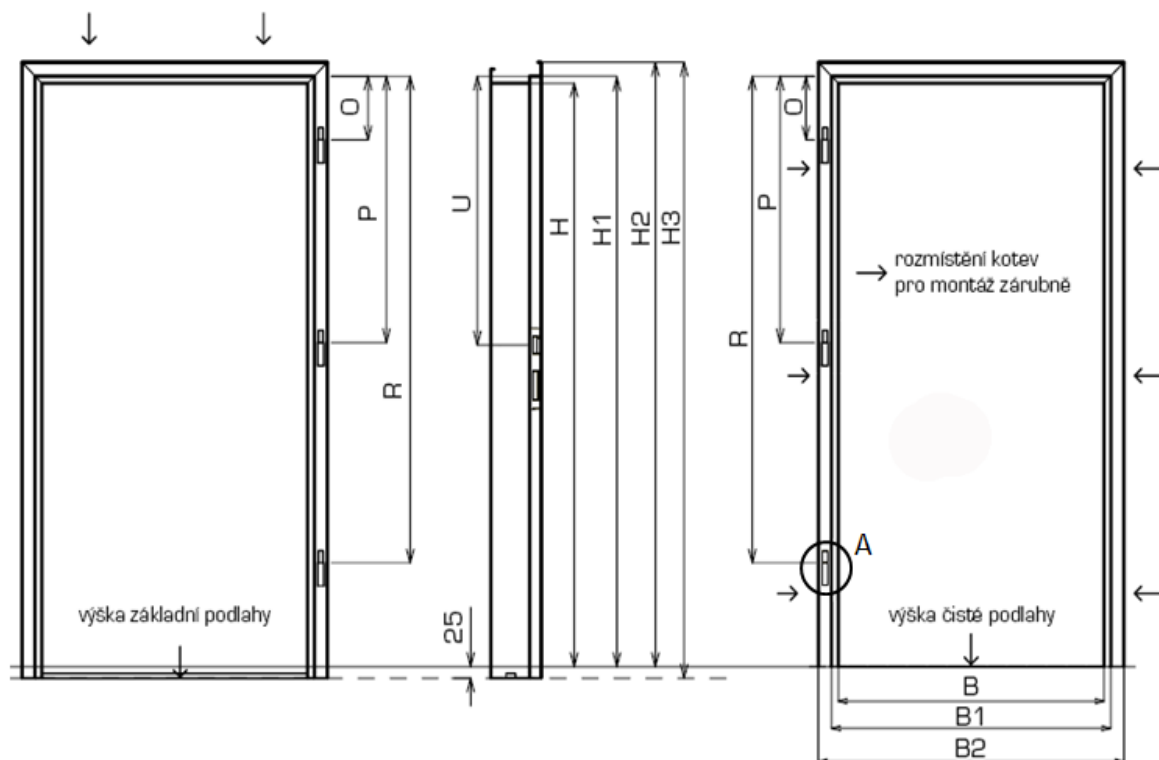
Standardně je zárubeň konstruována pro dveře s polodrážkou 25 x 15 mm. Zárubně jsou standardně osazeny třemi pevnými závěsy OZ 30 nebo OZ 50. Zárubně s těsněním jsou osazeny 1D stavitelným závěsem 60/10 SD tak, aby bylo možné seřízení dveří při zavěšování na zárubeň. Typy závěsů dle označení jsou znázorněny v příloze C.

Zárubně jsou určeny pro zavěšení běžných interiérových, vchodových nebo požárních dveří. V případě použití zárubní pro speciální dveře (např. bezpečnostní), jejichž hmotnost je výrazně vyšší než u běžných dveří, lze provést zpevnění zárubní v místě závěsů nebo přidat dodatečné závěsy. Zárubně se běžně vyrábějí ve dvou provedeních, bez těsnění a s těsněním.

Technická specifikace a popis zárubní

Zárubně s přesahem do podlahy
PRO JEDNOKŘÍDLÉ DVEŘE PRAVÉ

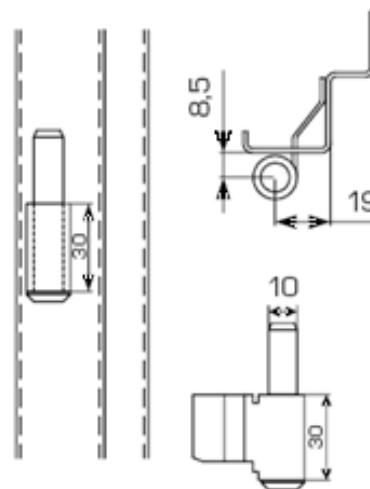
Zárubně na »čistou« podlahu
PRO JEDNOKŘÍDLÉ DVEŘE LEVÉ



H	H1	U	O	P	R
1970	1985	900	200	975	1750

Obr. 2 – Rozmístění závěsů a otvorů na zárubni (hodnoty jsou v mm) ^[15]

Detail A – varianty používaných spodních dílů dveřních závěsů jsou podrobně uvedeny v příloze C. Níže zobrazený závěs je nejčastěji používaným typem v budovách určených pro montáž konstruovaným zařízením. Jedná se o pevný závěs OZ 30 používaný standardně u zárubní bez těsnění. Únosnost tří závěsů je 50 kg. V případě požadavku na osazení zárubně dveřmi s hmotností vyšší než je uvedená únosnost nebo s rozměry nad 2000 x 1000 mm lze zvýšit únosnost přidáním 4. závěsu cca o 30 %. Pokud to není dostačující, pak je nutno použít konstrukčně jiný typ závěsů.



Obr. 4

1.4 Analýza současného stavu osazování dveří

V současné době většina firem stále využívá zavedený způsob osazování dveří standardního typu. Spočívá v dopravě dveří na místo výstavby v úložném prostoru automobilu. Vyložení probíhá ručně, v případě uložení dveří na paletách strojně. Další činností je doprava na pracoviště. V mnoha případech jsou k dispozici „pouze“ osobní výtahy, do kterých je možné dveře umístit pouze vertikálně, důvodem je rozměrová dispozice osobních výtahů – viz kapitola výtahy (**str. 15**), v případě využití služebních výtahů se dají dveře dopravit na paletě (tato varianta je u administrativních budov velice ojedinělá). Poslední činností je osazení, které spočívá v odebrání dveří z palety, přesném umístění nad panty a samotném osazení dveří. V některých případech je potřeba dveře opakovaně sundat a seřídít na pantech, důvodem je tolerance při výrobě dveří a zárubní a samozřejmě také možnost chyby při osazování zárubní. Tyto chyby se v dnešní době eliminují výstavbou z prefabrikovaných dílců, kde jsou stavební otvory a kotvy zárubní přesně stanoveny. Podle provedeného průzkumu odbornosti pracovníků vykonávajících činnost osazování dveří bývá stolař a potřebný počet pomocníků závislý na objemu a složitosti práce.

Časová rozvaha činností

Při pohledu na časovou náročnost ručního přesunu hmot (dveří) z místa vyložení k místu osazení je možno použít průměrnou rychlost chůze osoby nesoucí břemeno, která se pohybuje v rozmezí 3,2–4,3 km/h.[57]

Časová náročnost ručního osazování dveří o rozměrech 800/1970 mm je určena 10 měřenými pokusy, vždy na jiném pracovním místě, kde pracovník odebral dveře z palety, ušel 2 m a dveře osadil. Průměrná hodnota naměřených časů byla 26 s.

Výše uvedené činnosti jsou zpracovány pomocí ceníku stavebních prací „Verlag Dashofer“ pro Českou republiku (**tab. 2**), který se používá k tvorbě cenových nabídek určených pro výběrová řízení. Vygenerované ceny se použijí při vyhodnocení navrženého zařízení z hlediska zvýšení efektivity procesu osazování dveří a délky návratnosti při zakoupení. Uvedené jednotkové ceny jsou bez DPH, v případě budov určených pro shromažďování osob (školní, administrativní a nemocniční budovy) činí DPH 20 % jednotkové ceny (DPH je vázáno k 1. 5. 2011).

Č	Kód	Zkrácený popis	M.j.	Množství	Jednot. cena (Kč)
	766	Konstrukce truhlářské			
1	766662112R00	Montáž dveří do rámu zárubně 1 kříd. š. do 80 cm	kus	1,00	291,82
2	766662122R00	Montáž dveří do rámu zárubně 1 kříd. š. nad 80 cm	kus	1,00	296,05
3	766662132R00	Montáž dveří do rámu zárubně 2 kříd. š. do 145 cm	kus	1,00	448,17
4	766662142R00	Montáž dveří do rámu zárubně 2 kříd. š. nad 145 cm	kus	1,00	456,63
5	766661482R00	Montáž dveří s olověnou vložkou 1 kř. nad 80 cm	kus	1,00	582,73
6	766661472R00	Montáž dveří s olověnou vložkou 1 kř. do 80 cm	kus	1,00	525,49
7	766661422R00	Montáž dveří protipožárních 1 kříd. nad 80 cm	kus	1,00	496,87
	97	Přesun hmot – Konstrukce truhlářské			
8	979082121R00	Příplatek k vnitro-staveništní dopravě za dalších 5 m	t	1,00	24,37
9	979087391R00	Přemístění materiálu vodorovně za dalších 10 m	t	1,00	87,30
10	979011229R00	Příplatek k svislé dopravě za každé další PP nošením	t	1,00	236,06
11	979011219R00	Příplatek k svislé dopravě za každé další NP nošením	t	1,00	222,59
12	979011111R00	Svislá doprava materiálu za 2. NP a 1. PP	t	1,00	216,57
13	979088119R00	Příplatek k vodorovné dopravě vozíky za dalších 100 m	t	1,00	64,15

Tab. 2 - Ceny prováděných operací

Přínosem nově navrženého zařízení by mělo být odstranění fyzicky náročné manipulace s dveřmi při přesunu a osazování. Dále z toho vyplývající nemocnost pracovníků a následně i snížená produktivita. Další výhodou by mělo být snížení počtu pracovníků a zrychlení celého procesu.

2. Přehled stávajících zařízení

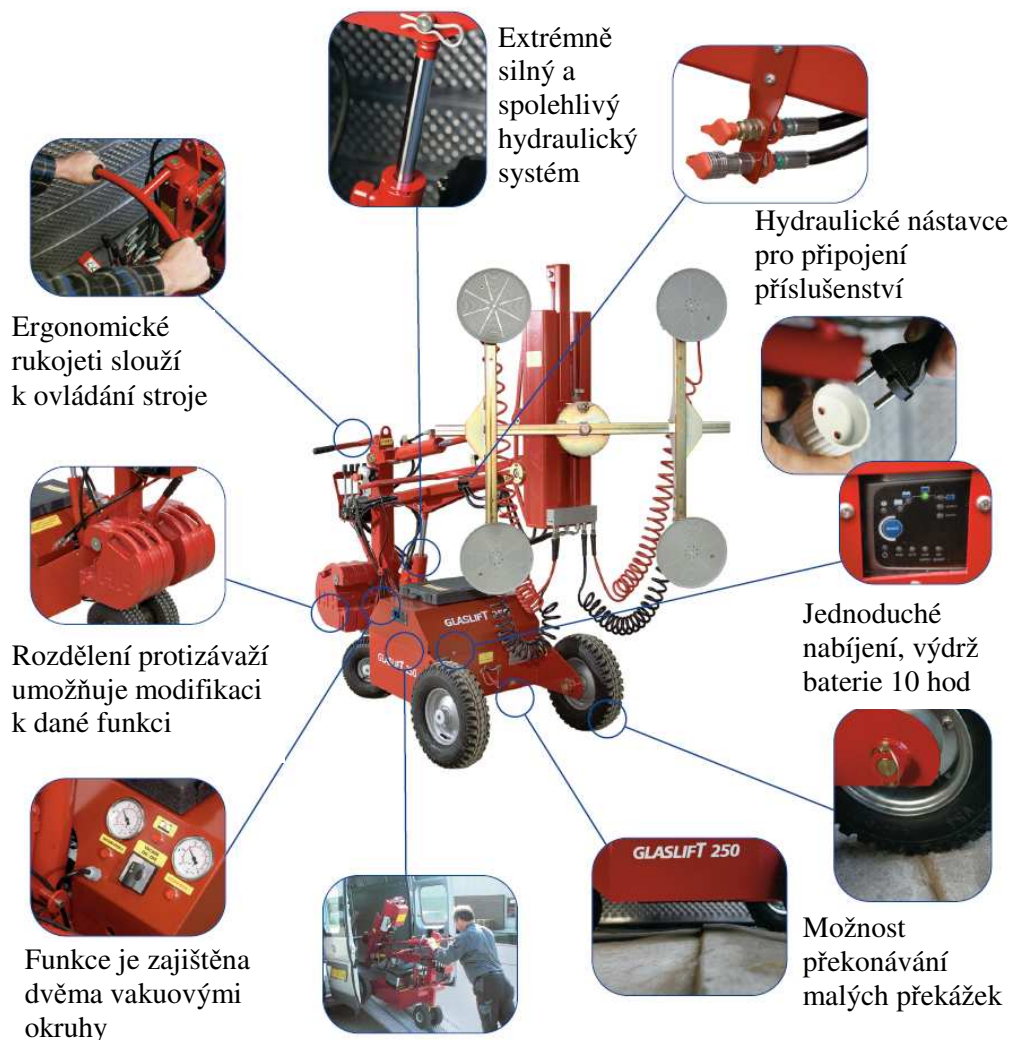
2.1 Door Jak 100



Obr. 5

Door Jak 100 (**obr. 5**) je určen k přepravě a montáži těžkých, rozměrných i běžných interiérových dveří. Zařízení je v místech dotyku s dveřmi opatřeno pryžovými válečky, čímž se chrání povrch dveří. Dveře jsou při transportu upnuty pomocí pásu a račny. Při průjezdu dveřním rámem je nutné odklonit přepravované dveře od vertikální osy, k tomuto úkonu slouží stavěcí kolík s kotoučem. Pro odstranění malých odchylek při montáži lze použít polohovací tyč a ruční kolo k seřízení výšky dveří nebo případnému odklonu. Hmotnost je stanovena na 65 kg a nosnost na 300 kg. Zařízení je určeno pro trh v USA, kde se používají šroubované panty. Tyto panty jsou pevně spojené s dveřmi, do obložkových zárubní se připevní třemi vruty, před samotnou montáží je ve většině případů nutné vyfrézovat na obložkové zárubni drážky, do nichž se umístí panty. (cena 73 200 Kč)

2.2 HH Intellitech GLASLIFT 250



Obr. 6

Dánská společnost HH Intellitech vyvinula toto zařízení v několika modifikacích. Představená varianta GLASLIFT 250 (**obr. 6**) patří mezi nejmenší a je určena především

pro osazování oken a dveří vyšších hmotností do špatně přístupných míst. Zařízení uchopí objekt manipulace (dále jen OM) podtlakovým efektem. Rozměry OM jsou libovolné, je nutné dodržet pouze rovinnou plochu k uchycení přísavek a hmotnost OM nesmí přesáhnout 250 kg. Podtlakový systém je vybaven dvěma okruhy, z důvodu vyšší bezpečnosti. Varianta GLASLIFT 250 není vybavena motory, pohyb po staveništi je vykonáván prostřednictvím obsluhy. Hlavní výhodou je změna rozvoru přední „nápravy“, což umožňuje lepší průjezdnost a skladnost. Výdrž baterie splňuje časový harmonogram jednosměnného provozu okolo 10 hodin. (cena 392 000 Kč) [24]

TECHNICKÉ PARAMETRY GLASLIFT 250			
POPIS	HODNOTA	POPIS	HODNOTA
Nosnost	250 kg	Tlak v předních pneumatikách	4.5 bar
Hmotnost	260 kg/410kg	Tlak v zadních pneumatikách	7.5 bar
Min. vnější šířka	618 mm	Nabíjecí proud	230/210 V
Max. vnější šířka	820 mm	Baterie	12 V
Délka	1520/2070 mm	Doba nabíjení	8 hod
Max. výška	2720mm		

2.3 DOORMINATOR USA

Doorminator (**obr. 7**) pracuje na podobném principu jako Door Jak (**obr. 5**). Je však zjednodušen v některých funkcích, převážně v oblasti manipulace při osazování dveří. Transport zůstává stejný, obsluha naloží dveře a zabezpečí je proti pohybu, v tomto případě táhly. Při průjezdu dveřmi je možnost odklonu dveří od vertikální osy. U tohoto zařízení nelze odstranit odchylky při osazování pomocí polohovací tyče ani ručního kola, tyto úkony vykoná obsluha přesným polohováním na kolečkách. Výhodou jsou velmi malé rozměry při složení do přepravní polohy. Hmotnost zařízení je 32 kg a nosnost 72 kg. Toto zařízení je stejně jako ostatní určeno pro trh USA, kde se používají jiné typy pantu. (cena 11800 Kč) [27]



Obr. 7

2.4 Door Jak 50



Obr. 8

Door Jak 50 (**obr. 8**) je zjednodušenou variantou Door Jak 100 (**obr. 5**), mezi hlavní rozdíly patří nosnost, která je u tohoto zařízení 113 kg, a nemožnost polohování dveřmi ve všech osách, u této varianty jdou dveře polohovat pouze výškově v rozmezí 5 cm, klikou znázorněnou na obrázku. Odklon od svislé osy se provádí stejně jako u předchozí varianty stavěcím kolíkem, při průjezdu rámem dveří zvolíme druhou polohu, při které jsou dveře odkloněny o 15°. (cena 13500 Kč) [25]

2.5 UPG DOOR JACK



Obr. 9

Přípravek UPG DOOR JACK se používá k transportu plechů, skleněných nebo dřevěných tabulí a dveří různých typů od tloušťky 12 mm do 51 mm. Pomocí tohoto přípravku se dají transportovat objekty až do hmotnosti 136 kg. Výrobce uvádí velice snadnou manipulaci, postačuje pouze přiložit spodní část k objektu a

bezpečně dotáhnout šrouby, v případě transportu ve vodorovné poloze je nutné použít i druhou část zařízení. Spodní část umožňuje výškové nastavení. Při transportu si obsluha nakloní objekt směrem k sobě, po dosednutí na zadní kolečka může bezpečně pokračovat v manipulaci, jak je znázorněno na obrázku (obr. 9). (cena 8400kč) [24]

3. Závěr rešerše

Robot asistenčního typu určený na osazování dveří a manipulaci s nimi musí splňovat nejružnější požadavky. V první řadě je to pohyb v místě vykonávané funkce, je nutné zaručit bezproblémový přesun robotu od vstupu do budovy až po místo osazování dveří. Na této cestě se dá předpokládat použití výtahu, jehož půdorysné rozměry jsou stanoveny normou a dají se použít jako omezující parametry rozměrů konstrukce. V mnoha případech je zapotřebí zaručit průjezd dveřmi dělicími chodbu nebo prostor před výtahem od hlavního koridoru. Tato podmínka je důležitá i z hlediska umístění pantů osazovaných dveří, které se mohou nacházet vně místnosti. Usnadněním této podmínky je předepsaný rozměr dveří a zárubní pro určité typy budov. I když osazování dveří probíhá v rámci dokončovacích prací, stále se na staveništi mohou vyskytovat osoby, palety s materiálem a překážky jim podobné, proto je nezbytné zaručit dostatečnou mobilitu zařízení a bezpečnost osob v okamžiku plnění funkce. Při samotném osazování a přepravě dveří je manipulační prostor omezen rozměry místností a chodeb. Rozměrové tolerance dveří a zárubní je možné odstranit použitím výrobků nejvyšší jakosti (stejně jako v jiných odvětvích s využitím určité mechanizace).

Výrobci zabývajících se výrobou nebo vývojem zařízení na osazování dveří není ve světě mnoho, navíc většina nalezených zařízení je určena především pro trh USA, kde jsou používány jiné typy pantů. Pro tuzemský trh by tato zařízení neměla valný význam, neboť časy na montáž by se výrazně zvýšily nebo zůstaly stejné, což je neefektivní. Analyzovaná zařízení umožňují velice přesné polohování ve všech osách, jak vyplývá z popisů (2.1-2.4), kde si pracovník seřídí dveře do požadované polohy a následně je upevní vruty. Tyto funkce jsou v tuzemských podmínkách zbytečné. Velkou výhodou představených zařízení (2.1-2.5) je spolehlivost, jednoduchá obslužnost a nenáročná údržba. Nezanedbatelná je finanční stránka, zejména pořizovací cena a provozní náklady představených zařízení. Ostatní výrobci se zabývají víceúčelovými přípravky s přesně specifikovanými funkcemi, jako je přeprava nebo demontáž.

4. Požadavkový list

Po rozboru kinematiky pohybu při osazování dveří, analýze používaných zařízení a seznámení se s problematikou návrhu budov, kde jsou přesně předepsány komponenty a postupy při realizaci, byly stanoveny následující požadavky pro návrh robotu.

Požadavky:

- Oblast použití: školy, hotely, nemocnice a administrativní budovy, kde je zhruba 500 dveří a více
- Rozměry dveří 800–1100 mm
- Nosnost: 100 kg
- Světlá šířka: 700 mm*
- Délka: 1100 mm*
- Hmotnost: 250 kg*
- Velikost pracovního prostoru v příčném směru: 1400 x 2500 mm*
- Jednoduchá obslužnost a manipulovatelnost

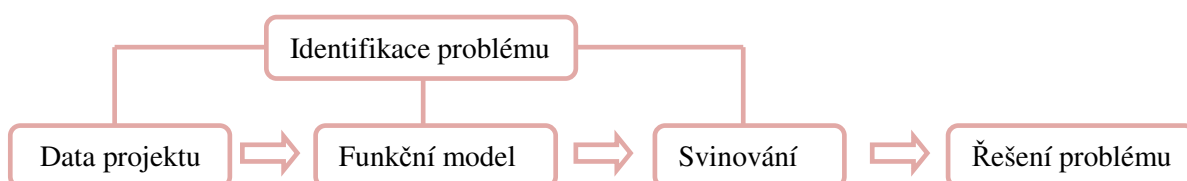
*Maximální přípustná hodnota.

5. Výběr optimální varianty v programu TechOptimizer

Po zevrubné analýze současného stavu a všech ovlivňujících parametrů je vhodné hledat inspiraci u zařízení určených pro manipulaci a osazování dveří. Z výše uvedených zařízení byla vybrána skupina tří zástupců odlišujících se od sebe stylem polohování, stylem upnutí OM a zdrojem energie. Tyto varianty budou podrobeny analýze pomocí programu TechOptimizer 3.0.

Výkonný počítačový nástroj TechOptimizer napomáhá konstruktérům vyhnout se chybám již v časném stádiu vývoje identifikováním správných problémů, které mají být vyřešeny. Je-li problém stanoven nesprávně, nemůže být jeho řešení úspěšné. Pro řešení problémů je nabízeno spektrum relevantních znalostních doporučení a informací, které jsou pro jednotlivce jinak nedosažitelné [9].

Analýzu produktu lze vyjádřit ve čtyřech hlavních etapách.



V první etapě analýzy zadá uživatel specifikace řešeného problému a omezující parametry s upřesněním jejich významnosti.

Během druhé etapy analýzy je sestaven funkční model, skládající se z jednotlivých prvků vyjadřujících komponenty daného výrobku. Mezi komponenty se určí interakce (vazby), u kterých lze zadat další parametry zpřesňující vztah mezi danou vazbou a vstupními parametry.

V třetí etapě TechOptimizer analyzuje všechny informace o objektu a poskytne doporučení. Doporučení se týkají prvků, které mohou být zjednodušeny, nahrazeny za méně problémové či bezproblémové, nebo úplně odstraněny.

Během poslední etapy analýzy nabídne TechOptimizer uživateli nové koncepty. K tomuto účelu je vybaven moduly Effect (jevy a efekty přírodních věd), Principles (principy) a Prediction (prognózy).[9]

K analýze v programu TechOptimizer byly vybrány tři konstrukční varianty, jedna od každého výrobce:

- **HH Intellitech GLASLIFT 250,**
- **DOORMINATOR USA,**
- **Door Jak 100.**

Na základě výsledků z problémové, funkční a cenové analýzy výše uvedených variant budou určeny užitečné komponenty a jejich funkce, ze kterých se bude dále vycházet, samozřejmě i škodlivé či nepotřebné komponenty a funkce, kterých je třeba se vyvarovat.

5.1 Varianta A – HH Intellitech GLASLIFT 250

U této varianty (**obr. 6**) je pohyb po staveništi realizován čtyřkolovým lokomočním ústrojím bez pohonné jednotky, energie pohybu je dodávána tlačáním obsluhou. Objekt se uchytí efektozem, opatřeným čtyřmi přísavkami, k vyvolání podtlaku slouží pneumatický motor umístěný na podvozku. Efektor je polohován dvěma rameny prostřednictvím hydraulického systému, hydraulický motor je umístěn na podvozku. Oba motory jsou regulovány pákovým ovládáním umístěným na madlech zařízení. Motory jsou napájeny 12V baterií o výdrži 10 hodin v plném provozu. Velkou výhodou je nastavitelný rozchod přední nápravy umožňující lepší průjezdnost stavenišť a možnost rychlé montáže/demontáže protizávaží. Naopak nevýhodou dle zkušeností prodejce je nutnost dobíjení, stává se, že obsluha opomene připojit zařízení do sítě a v průběhu následující směny se stává nepoužitelným. Tento nedostatek je způsoben spíše nedbalou obsluhou, ale i tak neblaze ovlivňuje náklady a produktivitu práce.

5.1.1 Vstupní parametry analýzy

Definování hodnot významnosti (důležitosti) u vstupních parametrů je stanoveno pomocí stupnice 1 až 10 (1 – nejméně důležitý parametr, 10 – velmi důležitý parametr).

Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Současná hodnota	Požadovaná hodnota	Důležitost
1	Cena	Snížit	Kč	392000	99000	8
2	Produktivita	Zvýšit	ks	1	2	7
3	Zjednodušení	Zvýšit				4
4	Nosnost	Snížit	kg	250	100	6
5	Přesnost polohování	Zvýšit				6
6	Stupeň automatizace	Zvýšit	%	10	90	6

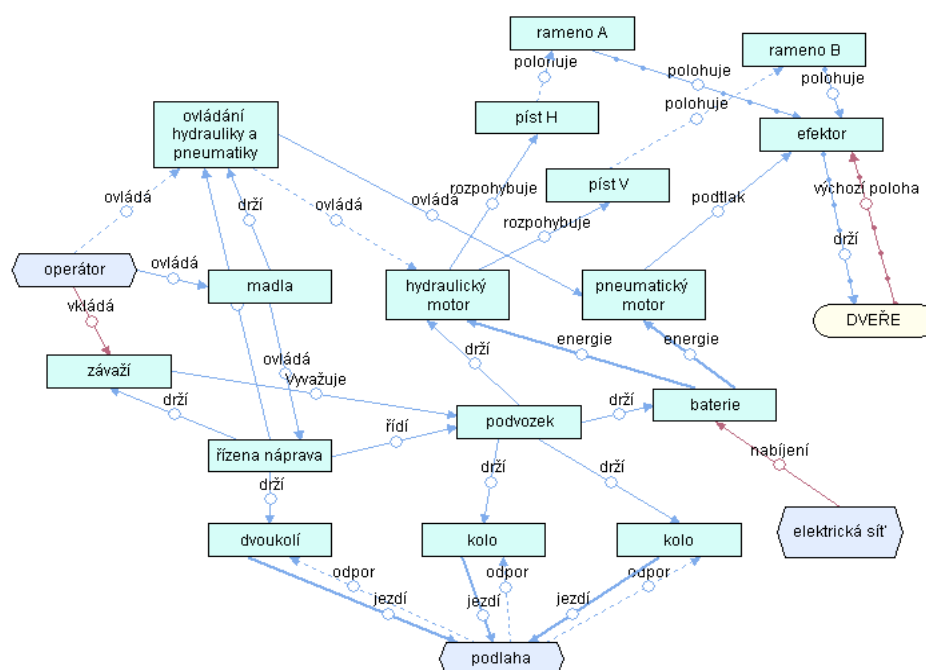
Tab. 3 – Cíle

Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Hodnota
1	Hmotnost	Méně než	kg	250
2	Cena materiálu	Nezvyšovat	Kč	
3	Rozměry š/d/v	Nezvyšovat	mm	618/2070/2720
4	Ergonomie	Nesnižovat		

Tab. 4 - Omezení

5.1.2 Funkční model

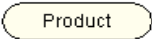
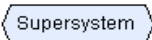
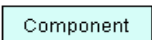
Při tvorbě funkčního diagramu (obr. 10) byly použity pouze komponenty jedné úrovně.









Obr. 10

Popis diagramu:

Prvky

	produkt – konečný výsledek působení systému
	nadsystém – prvky systému, které uživatel nemůže modifikovat
	komponent analyzovaného objektu

Vazby

	užitečná vazba		užitečná vazba s parametry
	nedostatečně užitečná vazba		škodlivá vazba
	nadměrně užitečná vazba		škodlivá vazba s parametry

5.1.3 Svinování A

Po sestavení funkčního modelu a nadefinování užitečných a škodlivých působení je dalším krokem svinování (trimming).

Komponent	Hodnota Funkčnost	Hodnota Problémovosti	Cena [%]
Efektor	6,67	5	12
Kolo	4,44	2,5	1
Kolo	4,44	2,5	1
Podvozek	10	0	11
Řízená náprava	8,89	0	6
Madla	4,44	0	3
Závaží	2,22	1,6	3
Ovládání hydrauliky a pneumatiky	4,44	2,5	8
Baterie	4,44	10	4
Hydraulický motor	4,44	0	13
Píst V	3,33	5	5
Píst H	3,33	5	4
Dvoukolí	4,44	2,5	1
Rameno A	4,44	10	8
Rameno B	4,44	10	8
Pneumatický motor	4,44	0	12
Celkem	78,84	56,6	100

Tab. 5 - Hodnocení komponentů z hlediska funkčnosti, problémovosti a nákladů

V tabulce (**Tab. 5**) jsou uvedeny tři ze čtyř základních kritérií hodnocení, podle kterých se určuje svinovací součinitel, kterým TechOptimizer vyhodnocuje optimální řešení systému. Čtvrtým kritériem je trimovací součinitel.

Výpočet trimovacího součinitele:

$$T_f = \frac{F_o^2}{P_o + C_o}$$

kde F_o - hodnota funkčnosti objektu
 P_o - hodnota problémovosti
 C_o - hodnota nákladů

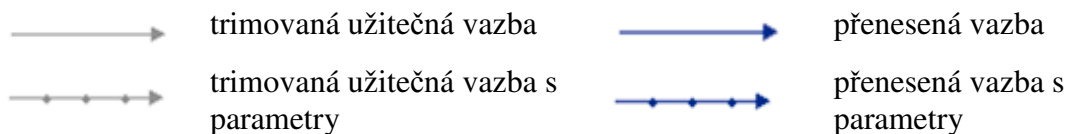
Komponent	Trimovací faktor $F_o^2/(P_o + C_o)$	Hodnota funkčnosti F_o , %	Hodnota problémovosti $P_o + C_o$, %
Rameno A	1,22	5,63	12,24
Rameno B	1,22	5,63	12,24
Píst V	1,25	4,22	6,71
Píst H	1,37	4,22	6,12
Baterie	1,51	5,63	9,91
Hydraulický motor	1,97	5,63	7,58
Závaží	2,14	2,82	1,75
Pneumatický motor	2,14	5,63	7
Ovládání hydrauliky a pneumatiky	2,28	5,63	6,56
Efektor	3,13	8,46	10,79
Kolo	6,03	5,63	2,48
Kolo	3,03	5,63	2,48
Dvoukolí	6,03	5,63	2,48
Madla	8,54	5,63	1,75
Podvozek	11,82	12,68	6,41
Řízená náprava	17,12	11,28	3,5
Suma	70,8		

Tab. 6 - Hodnocení jednotlivých komponentů, výpočet trimovacího faktoru

5.1.4 Výsledky analýzy

Nástrojem trimming byly analyzovány tyto komponenty: baterie, pneumatický motor, píst H, rameno A, efektor a závaží. Výsledky analýzy poukazují na nadbytečnost pneumatického motoru a následně i pneumatického efektoru, což vede k výraznému zjednodušení z hlediska použití jen jednoho „tlakového média“, a to hydraulického. Ukázalo se, že vhodnější by bylo dveře držet a polohovat přímo ramenem B. Mezi dalšími byla odstraněna baterie, přičemž dodávka energie pro hydraulický motor přešla na

Vazby



Seznam odhalených problémů Varianty A

TechOptimizer v závěrečné zprávě vygeneroval seznam problémů (**tab. 6**), tento seznam je velmi důležitý, neboť navádí k řešení problémů, které jsou seřazeny podle naléhavosti.

Název	Skupina
Vylepšení ovládání hydrauliky	Zjednodušit
Vylepšení polohování ramene pístem	Zjednodušit
Výchozí poloha OM	Zvýšit kvalitu
Zjednodušení řízení ovládaným dvoukolím	Zjednodušit

Tab. 6 – Naléhavost problémů

5.2 Varianta B – DOORMINATOR USA

Doorminator USA (**obr. 7**) je svou velice jednoduchou konstrukcí určen pouze k montáži interiérových dveří. U této varianty je pohyb po budově realizován prostřednictvím tří kol s otočnou kladkou, což umožňuje snadnou manipulaci a přispívá ke konečnému polohování při osazování dveří. Dveře do zařízení vkládá obsluha, spodní hranu dveří položí na pohyblivou lištu, která při použití pákového mechanismu umožňuje horizontální a vertikální polohování. Po vložení obsluha zajistí dveře táhly zabraňujícími vypadnutí a možnému poškození při převozu. Tato táhla se musí odjistit před samotnou montáží (osazováním) dveří. V případě průjezdu dveřním otvorem obsluha pomocí pákového mechanismu odkloní výklopnou část rámu o 17°, což umožní pohodlný průjezd. Přímému styku dveří s kovovou konstrukcí vozíku zabraňují opěrné podložky. Vozík je možné složit jednoduchým pohybem do přepravní polohy. Výhodou Doorminatoru je absence jakéhokoli pohonu a napájení, které by mohly vykazovat poruchy.

5.2.1 Vstupní parametry analýzy

Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Hodnota
1	Hmotnost	Přibližně	kg	32
2	Cena	Méně než	Kč	15000
3	Rozměry š/d/v	Nezvyšovat	mm	900/700/1200
4	Ergonomie	Nesnižovat		

Tab. 8 - Omezení

Výklopný rám	10	0	18
Táhlo 1	2,63	0	6
Táhlo 2	2,63	0	6
Páka H	1,58	10	5
Hřídel	1,05	2,4	4
Páka náklonu	1,05	0	7
Páka V	1,58	0	5
Opěrná podložka	2,63	0	2
Opěrná podložka	2,63	0	2
Pohyblivá lišta	2,63	0	15
Suma	37,36	12,4	100

Tab. 8 - Hodnocení komponentů z hlediska funkčnosti, problémovosti a nákladů

Výpočet trimovacího součinitele

Komponent	Trimovací faktor $F_o^2/(P_o + C_o)$	Hodnota funkčnosti $F_o, \%$	Hodnota problémovosti $P_o + C_o, \%$
Páka H	0,2	4,23	21,47
Páka náklonu	0,33	2,81	5,79
Hřídel	0,58	2,81	3,31
Pohyblivá lišta	0,64	7,04	12,4
Páka V	1,05	4,23	4,13
Kolo	1,75	4,23	2,48
Kolo	1,75	4,23	2,48
Kolo	1,75	4,23	2,48
Podvozek	1,77	11,27	17,36
Táhlo 1	2,42	7,04	4,96
Táhlo 2	2,42	7,04	4,96
Opěrná podložka	7,26	7,04	1,65
Opěrná podložka	7,26	7,04	1,65
Výklopný rám	11,67	26,77	14,88
Suma	40,85		

Tab. 9 - Souhrnné hodnocení jednotlivých komponentů, výpočet trimovacího faktoru

5.2.4 Výsledky analýzy

U tohoto typu konstrukce byly odhaleny nedostatky u komponentů: páka horizontálního polohování a hřídel umožňující odklon výklopného rámu od vertikální osy. Funkce páky byla přenesena na podvozek, prostřednictvím kterého by se dveře polohovaly v horizontální ose. Funkce hřídele byla také přenesena přímo na rám podvozku. Komponent páka V (vertikálního polohování) byl navržen ke zlepšení.

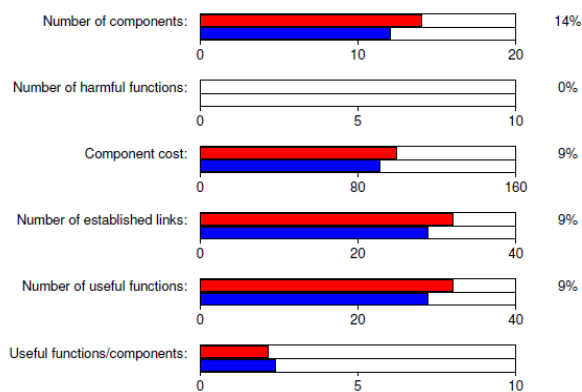
Svinované komponenty:

Páka H, Hřídel

Zjednodušené komponenty:

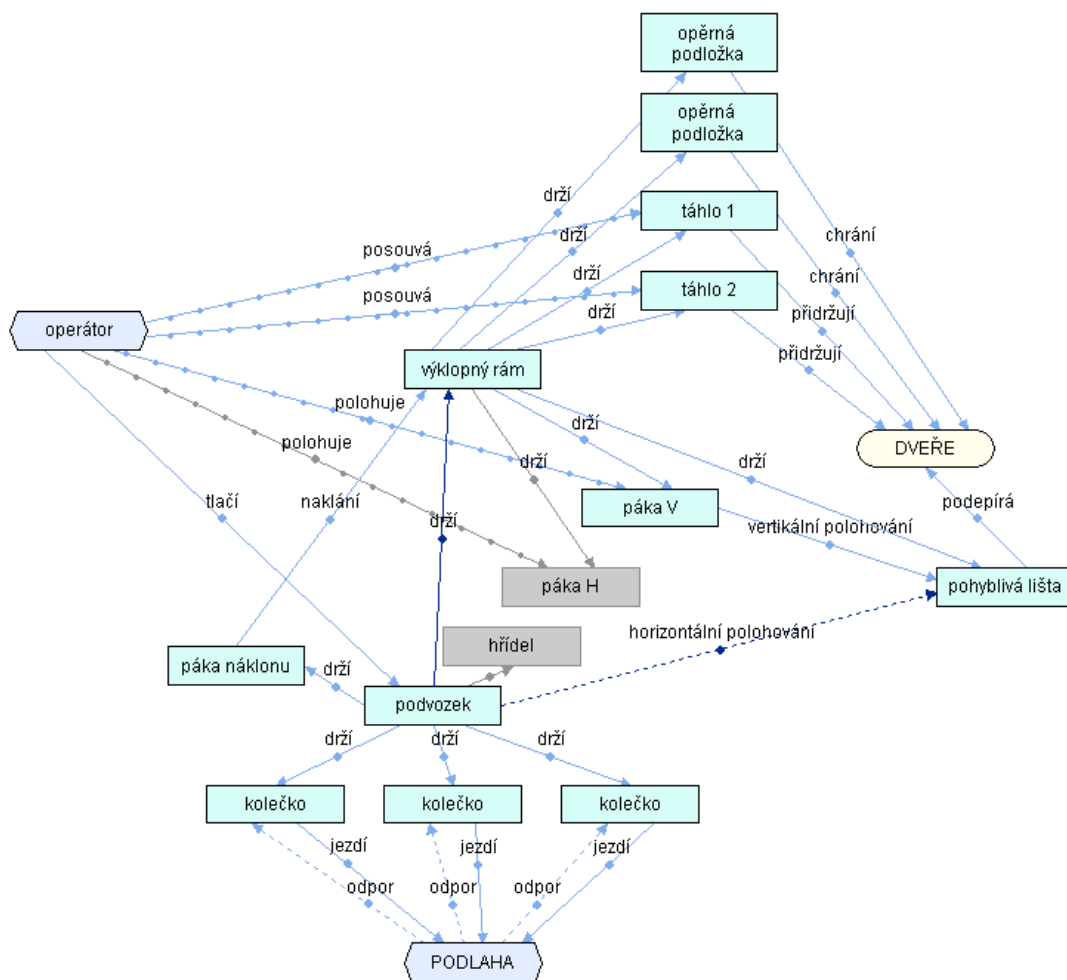
Přenesené funkce - 2

Eliminované škodlivé funkce - 2



Obr. 14

Výsledný model



Obr. 15

Seznam odhalených problémů Varianty B

Název	Skupina
Vylepšení vertikálního polohování	Zvýšit účinnost
Přístupnost operátora k pákám (táhlům)	Zvýšit kvalitu
Pohyblivá lišta	Zvýšit kvalitu

Tab. 10 – Naléhavost problémů

5.3 Varianta C – Door Jak 100

Door Jak 100 (**obr. 5**) se principiálně velmi podobá předchozí variantě. Zásadním rozdílem je pouze nosnost, která je v tomto případě 300 kg, a způsob polohování po vertikální ose – k tomuto úkonu slouží dvojice klik, kterými se dá rovněž upravit sklon dveří k dosažení vodorovné polohy. Tato manipulace usnadňuje samotnou montáž a přesnost polohování před přišroubováním dveří. Tento způsob je vhodný pro „šroubované panty“, ale při pohledu na nejčastěji montované interiérové dveře v budovách u nás by byla samotná montáž zdoluhavá. Po ručním vložení obsluha zajistí dveře upínacím pásem s račnou, který brání vypadnutí. V případě potřeby může obsluha použít ruční kolo, kterým se nastavuje vertikální odklon při konečné montáži. U této varianty je narozdíl od předešlé k dispozici polohovací tyč, kterou se polohuje lišta v horizontální ose v rozmezí ± 3 cm. Výklopný rám, o nějž se dveře opírají, umožňuje odklon od vertikální osy s použitím stavěcího kolíku a následnou přepravu dveří s odklonem 0° až 15° , což umožňuje snadný průjezd dveřním otvorem. Tato konstrukce je osazena čtyřmi koly s otočnou kladkou a není opatřena žádnou pohonnou jednotkou, veškerý pohyb a manipulace je vykonávána prostřednictvím obsluhy.

5.3.1 Vstupní parametry analýzy

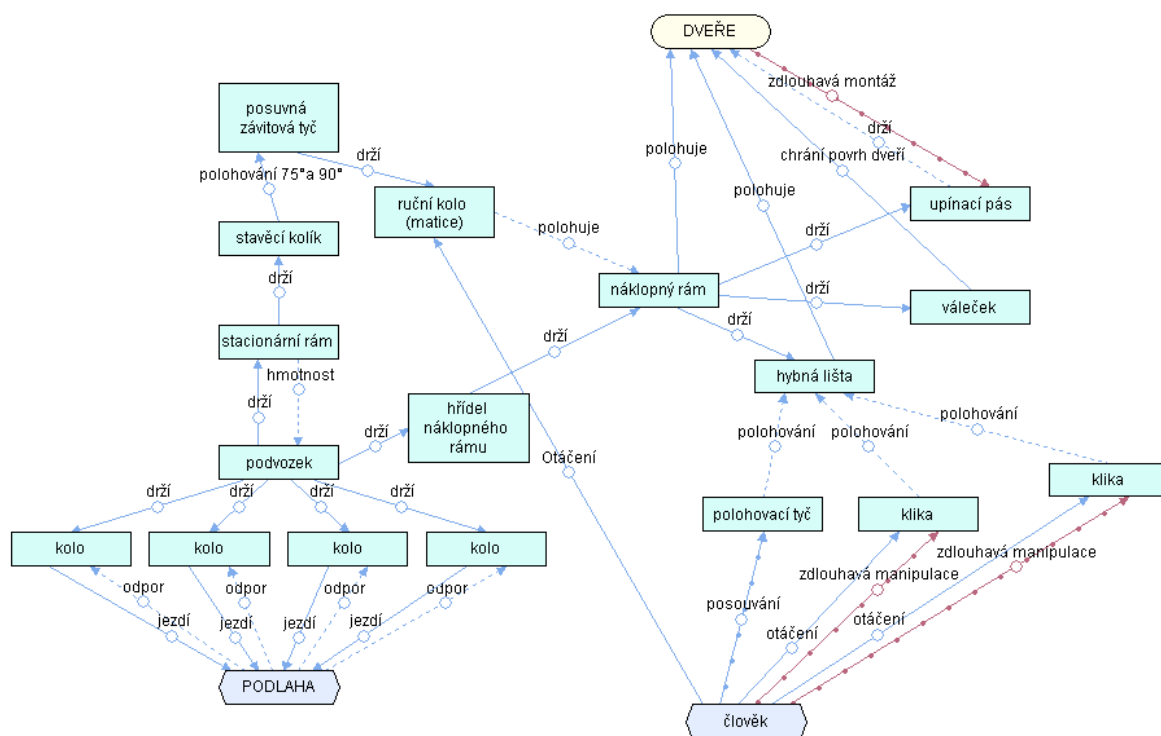
Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Současná hodnota	Požadovaná hodnota	Důležitost
1	Cena	Snížit	Kč	73200	15000	8
2	Produktivita	Zvýšit	ks	1	2	7
3	Zjednodušení	Zvýšit				4
4	Nosnost	Snížit	kg	300	100	6
5	Přesnost polohování	Zvýšit				6
6	Stupeň automatizace	Zvýšit	%	0	90	6

Tab. 11 - Cíle

Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Hodnota
1	Hmotnost	Méně než	kg	250
2	Cena materiálu	Nezvyšovat	Kč	
3	Rozměry š/d/v	Nezvyšovat	mm	800/700/1350
4	Ergonomie	Nesnižovat		

Tab. 12 - Omezení

5.3.2 Funkční model



Obr. 16

5.3.3 Svinování C

Komponent	Hodnota funkčnosti	Hodnota problémovosti	Cena [%]
Polohovací tyč	2,22	6	4
Hybná lišta	3,33	0	12
Klika	2,22	4	4
Klika	2,22	4	4
Ruční kolo (matice)	2,22	4	6
Váleček	3,33	0	2
Upínací pás	3,33	10	3
Výklopný rám	10	0	21
Stacionární rám	1,67	6	10
Hřídel	2,22	1,8	1
Podvozek	8,89	0	17
Kolo	2,22	0	3
Kolo	2,22	0	3
Kolo	2,22	0	3
Kolo	2,22	0	3
Závitová tyč	1,67	4	3,5
Stavěcí kolík	1,11	2,2	0,5
Suma	53,31	42	100

Tab. 13 - Hodnocení komponentů z hlediska funkčnosti, problémovosti a nákladů

Komponent	Trimovací faktor $F_o^2/(P_o + C_o)$	Hodnota funkčnosti $F_o, \%$	Hodnota problémovosti $P_o + C_o, \%$
Stacionární rám	0,26	3,01	12,57
Polohovací tyč	0,62	4	9,23
Ruční kolo (matice)	0,72	4	8,01
Klika	0,83	4	6,9
Klika	0,83	4	6,9
Upínací pás	0,97	6	13,35
Závitová tyč	1,67	3,01	1,95
Hybná lišta	1,94	6	6,67
Kolo	3,45	4	1,67
Kolo	3,45	4	1,67
Kolo	3,45	4	1,67
Kolo	3,63	8	6,34
Stavěcí kolík	5,17	2	0,28
Podvozek	9,76	16,01	9,45
Výklopný rám	10	18,01	11,68
Hřídel	10,35	4	0,56
Váleček	11,64	6	1,11
Suma	68,74		

Tab. 14 - Souhrnné hodnocení jednotlivých komponentů, výpočet trimovacího faktoru

5.3.4 Výsledky analýzy

U varianty Door-Jak byly podobně jako u předchozí varianty určeny nadbytečné komponenty pro polohování v horizontální ose v tomto případě zejména z důvodu časové náročnosti při „spouštění“ dveří, kde obsluha spouští dveře otáčením klik (**Obr. 5**), lépe viditelné na videu [25]. Dále byla určena jako nadbytečná hřídel výklopného rámu, jejíž funkce přešla na samotný rám podvozku. Odstraněním upínacího pásu zároveň došlo k odstranění škodlivé funkce a přenesení funkce pásu na válečky, čímž se konstrukce zjednoduší o 15 %. Varianta Door-Jak není určena jen pro osazování dveří, proto je opatřena hybnou lištou pro polohování ve všech osách, které nejsou pro potřeby funkce osazování dveří nezbytné. Zejména z tohoto důvodu určil TechOptimizer jako nadbytečné prvky polohovací tyč a hybnou lištu.

Svinované komponenty:

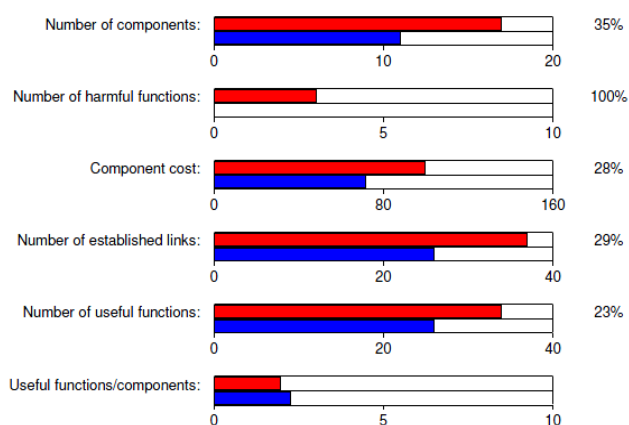
Polohovací tyč, Hybná lišta, Klika,
Klika, Upínací pás, Hřídel
výklopného rámu

Zjednodušené komponenty:

Výklopný rám

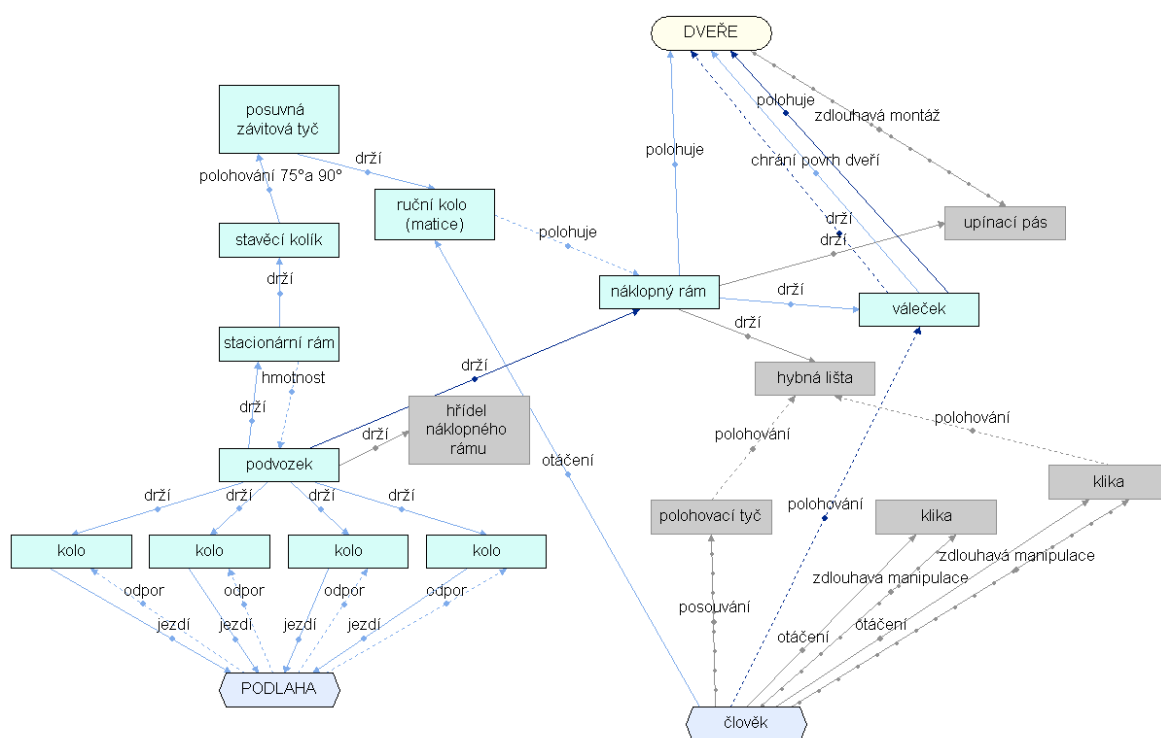
Přenesené funkce - 4

Eliminované škodlivé funkce - 11



Obr. 14

Výsledný model



Obr. 17

Seznam odhalených problémů Varianty C

Název	Skupina
Zlepšit polohování ručního kola	Zvýšit účinnost
Snížení hmotnosti rámu	Zjednodušit
Zlepšení vertikálního polohování	Zvýšit kvalitu
Zlepšení fixace dveří	Zvýšit kvalitu
Výklopný rám	Zvýšit kvalitu

Tab. 15 – Naléhavost problémů

5.4 Výběr optimální varianty

Na základě provedených analýz v programu TechOptimizer 3.0 byla porovnáním hodnot problémovosti, funkčnosti, nákladů a doplněného trimovacího faktoru vyhodnocena jako nejvhodnější varianta A, tedy HH Intellitech GLASLIFT 250. Varianta je nejvhodnější zejména z hlediska funkčnosti, kde odpadá ruční polohování a vkládání dveří, což pozitivně ovlivňuje časovou náročnost a následně produktivitu daného úkonu. Tyto vlastnosti jsou však kompenzovány vysokou cenou zařízení.

Z hlediska problémovosti je nejvhodnější varianta B, u které je stejně jako u varianty C výhodou malý počet prvků, ale zároveň nevýhodou nulový stupeň automatizace, a tedy fyzická účast obsluhy.

V tabulce znázorněné níže (**tab. 16**) jsou uvedeny součty jednotlivých hodnot.

Konstrukční varianta	Σ hodnot funkčnosti	Σ hodnot problémovosti	Σ hodnot trimovacího faktoru	Σ hodnot nákladů
Varianta A	78,84	56,6	70,8	392 000,-
Varianta B	37,36	12,4	40,85	11 800,-
Varianta C	53,31	42	68,74	73 200,-

Tab. 16 – Srovnání variant řešení

5.5 Funkce zařízení

Pro lepší přehlednost jsou identifikovány dílčí funkce analyzovaných zařízení (**tab. 17**). Z těch je po vyhodnocení stanovena funkční struktura nově navrhovaného zařízení.

Dílčí funkce	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Vyhodnocení
MANIPULACE S OM				
Uchopení OM	●			<input checked="" type="checkbox"/>
Fixace OM	●	●	●	<input checked="" type="checkbox"/>
Ochrana povrchu OM		●	●	<input checked="" type="checkbox"/>
Odběr OM z palety	●			
Odběr OM ze zásobníku	●			<input checked="" type="checkbox"/>
Přeprava OM	●	●	●	<input checked="" type="checkbox"/>
POLOHOVÁNÍ OM				
Přepravní pozice OM	●			
Vertikální posuv osa z *	●	●	●	<input checked="" type="checkbox"/>
Horizontální posuv osa x *			●	
Otočení kolem osy x *	●	●	●	<input checked="" type="checkbox"/>
Otočení kolem osy y *	●	●	●	<input checked="" type="checkbox"/>

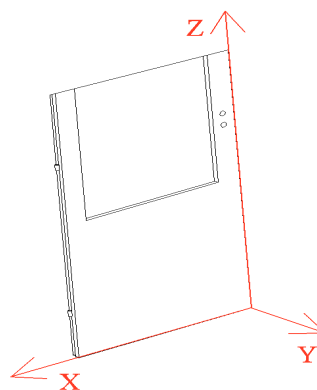
Otočení kolem osy z *		●			
OSTATNÍ					
Složení do přepravní polohy			●	●	
Signalizace přetížení	akustická	●			
	vizuální	●			
Detekce stavu baterie		●			<input checked="" type="checkbox"/>
Nabíjení baterie		●			<input checked="" type="checkbox"/>

Tab. 17 – Stanovení funkční struktury

☒ - vybraná funkce

* Polohování OM:

smysl a směr uvedeného polohování je znázorněný na obrázku (obr. 18).



Obr. 18

Z výše uvedené tabulky (**tab. 17**) jsou patrné vybrané funkce a je tedy stanovena funkční struktura nově navrhovaného zařízení, která je dále přenesena do morfologické matice.

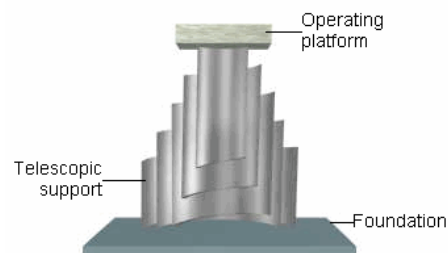
5.6 Konstrukční vylepšení

5.6.1 Efekty programu TechOptimizer 3.0

Modul efektů obsahuje přes 4000 vědecko-technických efektů a příkladů. Tento modul umožňuje vybrat efekty na základě požadované technické funkce a je jednou z alternativních cest k hledání řešení. [9]

Spirálová zdviž

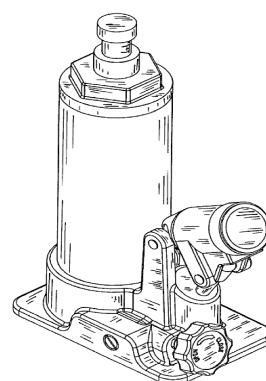
U současného zařízení je k polohování použit hydraulický systém, což vyžaduje mnoho prvků, proto byla nalezena alternativa v podobě spirálové zdviže. Zdviž se skládá z teleskopického podstavce a operační platformy. Jádrem podstavce je vyrobeno v podobě spirály, při zúžení podpory podstavce se podpora zvedne do požadované výšky.



Obr. 19

Hydraulický zvedák

Jednou z dalších možností navržených zejména pro varianty B a C je použití principu ručního hydraulického zvedáku, čímž u zmíněných variant odpadne zdlouhavá manipulace s táhly a klikami. U vybrané varianty A se tímto navrhuje řešení přesunu energie z operátora na hydraulický motor. *Princip:* Prostřednictvím páky se pohybuje pístem o určitém průměru, který přes ventil dodává tlakovou kapalinu pod píst zvedáku. Břemeno se spouští převáděním kapaliny zpět uvolněním ventilu.



Obr. 20

5.6.2 Goldfire Innovator - hledání znalostí

Program Goldfire Innovator byl využit k nalezení vyššího počtu možností využitelných k řešení navržených doporučení programem TechOptimizer. V programu byla využita sekvence určená k návrhu nového systému (*Design New System*), kde program provádí uživatele skupinou čtyř úkolů. Z těchto úkolů bylo použito zejména „hledání znalostí“ (*Knowledge Search*), které je založeno na prohledávání sémanticky tříděných znalostních databází, které mohou obsahovat firemní a osobní databáze, sbírky patentů a vědecké efekty, za účelem nalezení již existujících řešení souvisejících s funkcemi vykonávanými navrhovaným systémem. V případě robotu určeného pro funkci osazování dveří je nezbytné zajistit mobilitu v prostorách budov. Pro vyhledání informace týkající se této funkce byl zadán dotaz (*Query*) „robot mobility in the buildings“ (mobilita robotu v budovách). Výsledkem jsou již zmíněné existující řešení a patenty, v tomto případě tři rozdílná doporučení, a to diferenciálně řízený – kolový podvozek, využití všesměrových kol nebo Omni-Ball. Výsledky vyhledávání pro všechny dotazy (doporučení programu TechOptimizer) jsou uvedeny v tabulce níže (**tab. 18**).

Dotaz	Výsledek vyhledávání	Označení (patentu)	Odkaz
Mobilita robotu v budovách	Kolový - diferenciální řízení	0278-0046/01\$10.00 © 2001	Příloha K
	Všesměrová kola – diferenciální řízení	978-7695-3799-3/09\$26.00 © 2009	Příloha K
	Omni-Ball	1042-296X/99\$10.00 © 1999	Příloha L
Polohování OM	Lineární aktuátor	10.1109/ICEMS.2005.202527	-
	Kuličkový šroub	978-1-4244-6886-7/10/\$26.00 © 2010	-

Tab. 18 – Výsledky vyhledávání

5.7 Metoda morfologické matice

Z důvodu výskytu různorodých komponentů a funkcí každé varianty vhodných k vykonávání stejné operace byla sestavena funkční struktura nového zařízení (**tab. 17**), která je přenesena do morfologické matice spolu s nově nalezenými principy a efekty. Tato metoda přináší jasnější pohled na funkční a orgánovou strukturu cílového řešení, které bude vhodné jak z ekonomického, tak technického hlediska.

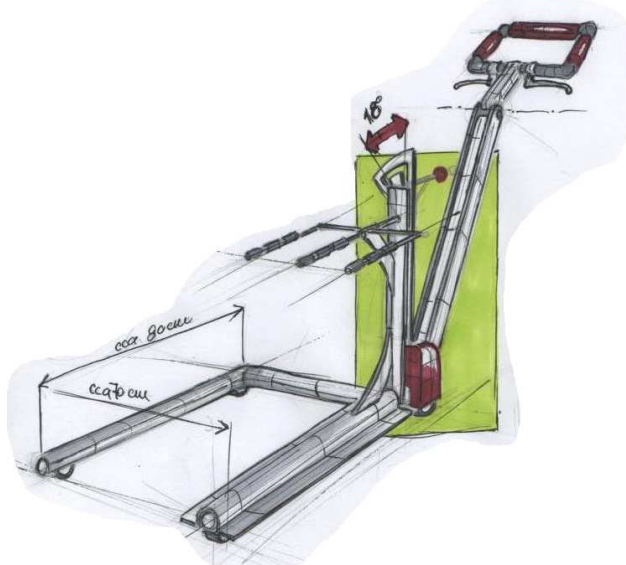
Dílič funkce		Fyzikální realizace dílčích funkcí				Počet prvků
		Efekty/Doporučení	Varianta A	Varianta B	Varianta C	
1	Způsob uchycení/vložení	Mechanicky/efektor	Přísavky	ruční	ruční	4
2	Fixace (zajištění) dveří	Čelisti efektoru	Pneumatický efektor	Táhla	Upínací pás	4
3	Ochrana povrchu dveří	-	-	Opěrná podložka	Válečky	2
4	Odběr OM	Paleta Zásobník	Paleta Zásobník	-	-	4
5	Řízení pohybu	Diferenciální řízení Všesměrová kola Omni-Ball	Řízená náprava	Otočné kladky s deskou	Otočné kladky s deskou	6
6	Energie pohybu	Baterie	Obsluha	Obsluha	Obsluha	4
7	Otočení kolem osy x	-	Efektor	Výklopný rám	Výklopný rám	3
8	Ovládání otočení kolem osy x	Elektromotor Lineární aktuátor Kuličkový šroub	Ručně	Páka (ručně)	Stavěcí kolík, ruční kolo – (ručně)	6
9	Posuv v ose z	-	Rameno A	"Pohyblivá" lišta	"Pohyblivá" lišta	3
10	Ovládání posuvu v ose z	Kuličkový šroub Spirálová zdviž Hydraulický zvedák Lineární aktuátor	Hydraulický motor	Páka (ručně)	Kliky (ručně)	7
11	Otočení kolem osy y	Podvozek	Efektor	Lišta	Lišta	4
12	Ovládání otočení kolem osy y	Lineární aktuátor	Ručně	Páka (ručně)	Kliky (ručně)	4
13	Odjištění dveří	Uvolnění čelistí	Uvolnění přísavek	Uvolnění táhel	Uvolnění pásu	4
14	Napájení robotu	Baterie	Baterie	-	-	2
15	Způsob uchycení pantů	-	Panty "nasazovací"	Šroubované panty	Šroubované panty	3
Hodnocení technických kritérií		Technicky nadějně řešení				
Hodnocení ekonomických kritérií		Ekonomicky efektivní řešení				
		Cílové řešení				

Tab. 19 – Morfologická matice

Na základě provedené analýzy je patrný výběr prvků jako alternativy mezi technicky nadějným řešením a ekonomicky efektivním řešením. Při pohledu na vybrané prvky a provedené analýzy jednotlivých variant programem TechOptimizer je patrné využití doporučených zjednodušení, nových principů, efektů a přesunů funkcí.

Konkurenceschopná varianta

Kombinací předešlých analýz byly vybrány nejvhodnější prvky s přihlédnutím zejména k ekonomické stránce řešení, zjednodušení a přeneseným funkcím. Z těchto prvků byla navržena varianta, která se jeví jako konkurenceschopná. Hlavním důvodem je konstrukční základ jako u analyzovaných ručních vozíků s nulovým stupněm automatizace, a tedy nutností přímé účasti obsluhy. Proto se daná varianta nejeví jako vhodná k dalšímu řešení, podrobný popis konstrukčního řešení je uveden v Příloze D.



Obr. 21

6. Analýza nového zařízení

Navržená konstrukce vychází z prvků vybraných metodou morfologické matice, kde byla uvážena doporučení programu TechOptimizer a prvky programu Goldfire Innovator (dále GFI).

6.1 Popis zkonstruované varianty

Lokomoční ústrojí je založeno na diferenciálním řízení, kde jsou přední kola poháněna dvojicí servomotorů TG Drives prostřednictvím planetových převodů. Toto řízení umožňuje otáčení robotu na místě kolem svislé osy procházející v polovině rozchodu obou poháněných kol, což je výhodou zejména při jeho manévrování v těsných prostorech. Funkce podpory podvozku a polohování OM kolem osy y (**obr. 18**) jsou přeneseny na dvojici všesměrových kol, která jsou polohována lineárním aktuátorem HIWIN LAS3-2. Robot odebírá dvojici dveří ze zásobníku mechanickým efektem. Síla úchopu je vyvozena modulem Schunk EGN, polohování v ose z (**obr. 18**) vykonává pohonná jednotka s kuličkovým šroubem THK KR45H. Uložení osy efektoru do dvojice ložisek umístěných na rámu umožňuje natočení kolem osy x prostřednictvím aktuátoru HIWIN

LAS3-2 upevněném na témže rámu. Jednotlivé prvky jsou opatřeny příslušným řídicím systémem, voleným tak, aby ho bylo možné ovládat jedním nadřazeným ŘS. Energie je dodávána bateriemi, jež jsou rozděleny do dvou skupin pro akční členy (motory) a ŘS, ke kterému je připojen senzorický subsystém. Úkolem operátora je nastavení nadřazeného ŘS, umístění majáků, které slouží k orientaci robotu po budově a postupná obměna zásobníku. Výše uvedené komponenty jsou využity k analýze a dalšímu zpracování.



Obr. 22

6.2 Kriteriaální hodnocení

K ověření přínosů nově navrženého zařízení vůči dříve analyzovaným jsou v tabulce níže určena dílčí kritéria a jejich hodnocení. Dílčí kritéria lze obecně rozdělit do tří skupin: technické, ekonomické a časové hledisko, kterým je přiřazena rozdílná váha významnosti. Technické hledisko 40%, ekonomické hledisko 30% a časové hledisko 30%. Technickému hledisku je přiřazena nejvyšší váha významnosti vyplývající zejména z požadavků na odstranění fyzicky náročné a monotónní práce. Ekonomická a časová kritéria jsou určena především výpočtem, proto je těmto kritériím přiřazena váha významnosti 30%. Tyto hodnoty je nutné ověřit na prototypu v praxi. K objektivnímu porovnání hodnot je uveden současný stav osazování dveří. Porovnáním výsledku lze získat přínos jednotlivých variant.

Kritéria	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Nová varianta	Současný stav
Složitost konstrukce [0-6]					
výrazná [0-2] částečná [2-4] žádná [4-6]	3	5	5	2	6
Fyzická náročnost obsluhy [0-5] - ve vztahu k ručnímu vkládání a zvedání OM					
výrazná [0] částečná [2-3] žádná [4-5]	4	2	2	5	0

Odstranění poškození zdraví obsluhy [0-5] - ve vztahu k fyzicky náročným úkonům					
výrazné [4-5] částečné [2-3] žádné [0]	4	3	3	5	0
Oblast využití zařízení [0-15]					
světová [10-15] Evropa nebo USA [5-10] Česká republika [0-5]	14	7	7	10	15
Inovativnost, jedinečnost projektu [0-15]					
výrazná [4-5] částečná [2-3] žádná [0]	3	2	2	4	0
Přínos zařízení, variabilita použití [0-35] - využití při manipulaci s jiným typem OM					
nadstandardní [20-35] velmi dobrý [20-28] průměrný [11-20] slabý [1-10] nedostačující [0]	20	15	15	18	5
Cena zařízení [0-15]					
400 000 a více - [0-3] 150 000 - 400 000 - [3-6] 51 000 - 150 000 - [6-9] 15 000 - 50 000 - [9-12] 0 - 15 000 - [12-15]	3	8	9	0	15
Náklady na osazení [Kč] - 2ks dveří (800mm) [0-15]					
586 - [0] 500 - [5] 400 - [10] 300 - [15]	5	10	10	15	0
Náklady na přesun hmot [Kč] - 8 ks dveří vzdálenost 100m [5-10]					
10 - 50 [10] 50 - 250 [5]	5	5	5	10	5
Čas potřebný k osazení 2 ks dveří [min] - [5-15]					
1 - 3 [15] 3 - 5 [10] 5 - 10 [5]	10	10	10	15	15
Vyhodnocení					
Technické hledisko 40%	19,2	13,6	13,6	17,6	10,4
Ekonomické hledisko 30%	3,9	6,9	7,2	7,5	6
Časové hledisko 30%	3	3	3	4,5	4,5
Celkem	26,1	23,5	23,8	29,6	20,9

Tab. 20

Z výsledků kritériálního hodnocení je patrný přínos nově navrženého zařízení, kde jsou vyšší pořizovací náklady kompenzovány snížením času, nákladů a fyzicky náročné práce obsluhy při osazování dveří. Snížení časů při osazování vyplývá z možnosti přepravovat dvojici dveří v jednom okamžiku, čímž se také snižují náklady na osazení jednoho kusu dveří. Fyzicky náročná práce je odstraněna použitím zásobníků, které obsluha pouze dopraví na stanoviště. Výpočty cenových kritérií jsou přesunuty do přílohy J.

6.3 Nová struktura - TechOptimizer

Nově navržená struktura zařízení je podrobena analýze v programu TechOptimizer, důvodem je zejména identifikace slabých nebo nadbytečných komponentů zvolených do struktury a jejich vzájemných vazeb. Vstupní parametry analýzy jsou stanoveny s přihlédnutím k možnosti obecného zlepšení zařízení. Cena komponentů je uvedena procentuálně, kde jako výchozí hodnoty slouží ceny prodáváných dílů použitých v zařízení. Limitní parametry vycházejí z dispozičního řešení budov, ve kterých se předpokládá aplikace zařízení.

6.3.1 Vstupní parametry analýzy

Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Současná hodnota	Požadovaná hodnota	Důležitost
1	Cena	Snížit	%	100	90	9
2	Výdrž baterií	Zvýšit	hod	7,64	10	7
3	Nosnost	Zvýšit	kg	100	130	4

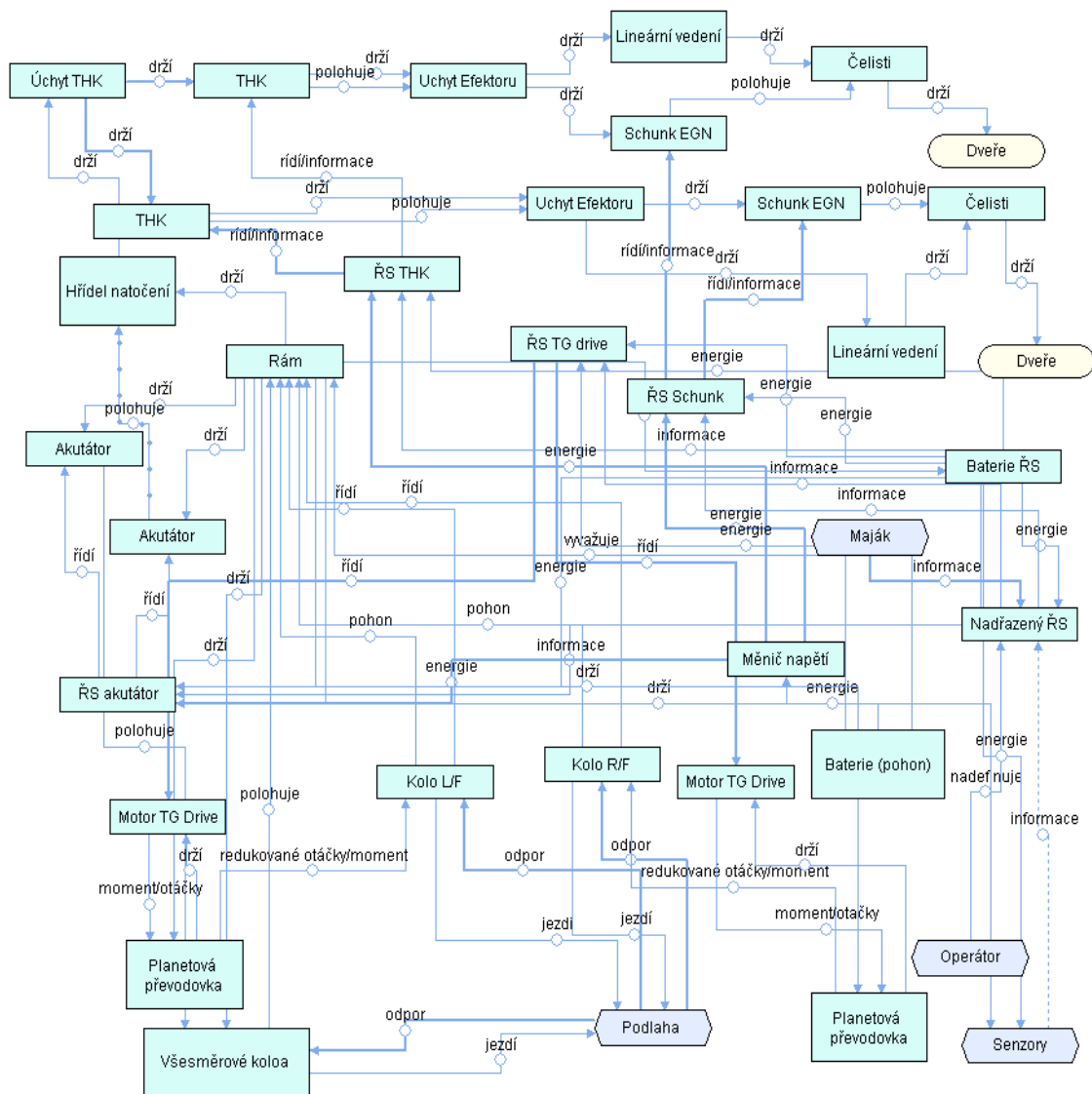
Tab. 21 - Cíle

Pořadí	Parametr	Podmínka	Jednotka	Hodnota
1	Hmotnost	Méně než	kg	250
2	Rozměry š/d/v	Nezvyšovat	m	0,7/1,1/1,127

Tab. 22 - Omezení

6.3.2 Funkční model

Funkční model (obr. 23) je sestaven obdobně jako u předešlých variant, jsou zde uvedeny prvky a jejich vzájemné interakce. Do modelu jsou zahrnuty prvky ŘS nezbytné k funkci jiných částí robotu. Funkční model je umístěn na přiložené CD.



Obr. 23

6.3.3 Svinování

Komponent	Hodnota funkčnosti	Hodnota problémovosti	Cena [%]
Čelisti	2,45	0	2,46
Schunk EGN	1,89	0	3,73
Čelisti	2,43	0	2,46
Schunk EGN	1,89	0	3,73
Úchyt efektoru	3,24	0	3,2
THK	2,7	0	1,9
Hřídél natočení	0,81	0	1,09
Úchyt efektoru	3,24	0	3,2
THK	2,7	0	1,9
Aktuátor	0,54	0	0,68
Rám	10	0	30

Baterie (pohon)	3,51	0	7,9
Baterie (ŘS)	7,03	0	5,49
Kolo L/F	5,14	0	0,17
Kolo R/F	5,14	0	0,17
Všesměrová kola	3,51	0	0,23
Aktuátor	1,62	0	0,68
ŘS aktuátor	1,62	3,33	1,6
ŘS THK	2,16	1,67	2,25
ŘS Schunk	3,24	1,67	2,4
Motor TG Drive	1,35	0	1,3
ŘS TG Drive	2,16	3,33	0,7
Lineární vedení	1,89	0	0,2
Lineární vedení	1,89	0	0,2
Motor TG Drive	1,35	0	1,3
Planetová převodovka	2,7	0	0,65
Planetová převodovka	2,7	0	0,65
Úchyt THK	2,16	3,33	6
Měnič napětí	3,24	10	0,69
Nadřazený ŘS	4,05	0	5,29
Suma	88,35	23,33	100

Tab. 23 - Hodnocení komponentů z hlediska funkčnosti, problémovosti a nákladů

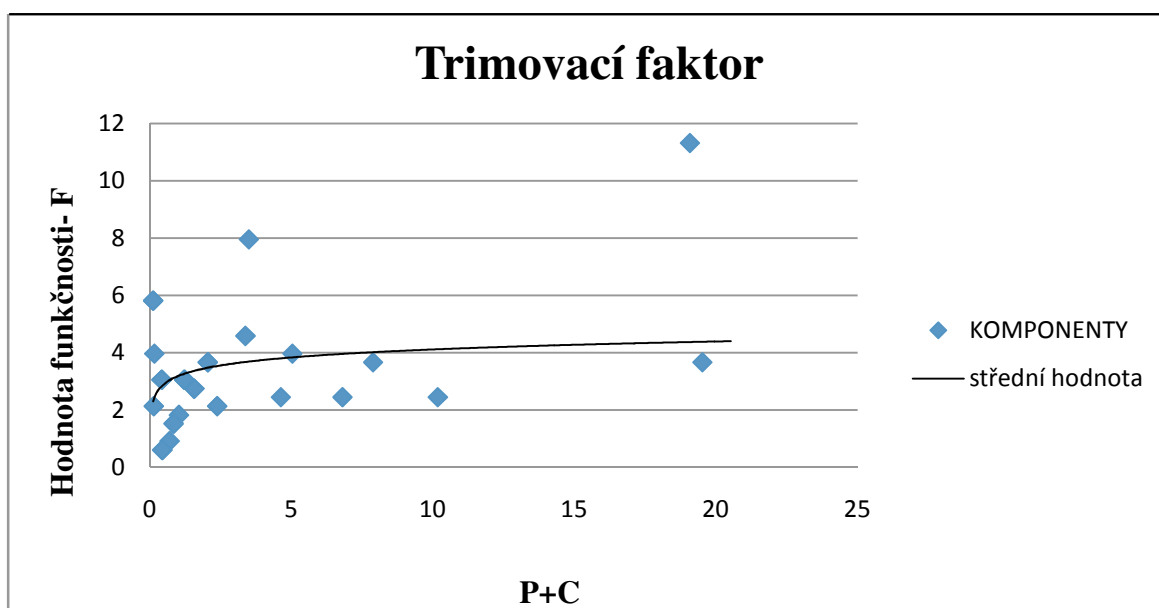
Výpočet trimovacího součinitele

Komponent	Trimovací faktor $F_o^2/(P_o + C_o)$	Hodnota funkčnosti $F_o, \%$	Hodnota problémovosti $P_o + C_o, \%$
Čelisti	7,2	2,75	1,56
Schunk EGN	2,87	2,14	2,37
Čelisti	7,2	2,75	1,56
Schunk EGN	2,87	2,14	2,37
Úchyt efektoru	9,84	3,67	2,04
THK	11,51	3,06	1,21
Hřídel natočení	1,81	0,92	0,69
Úchyt efektoru	9,84	3,67	2,04
THK	11,51	3,06	1,21
Aktuátor	1,29	0,61	0,43
Rám	10	11,32	19,08
Baterie (pohon)	4,68	3,97	5,03
Baterie (ŘS)	27,01	7,96	3,49
Kolo L/F	466,23	5,82	0,11
Kolo R/F	466,23	5,82	0,11
Všesměrová kola	160,7	3,97	0,15
Aktuátor	1,29	0,61	0,43

ŘS aktuátor	4,92	1,83	1,02
ŘS THK	1,93	2,45	4,62
ŘS Schunk	2,54	3,67	7,88
Motor TG Drive	4,21	1,53	0,83
ŘS TG Drive	1,31	2,45	6,8
Lineární vedení	53,58	2,14	0,13
Lineární vedení	53,58	2,14	0,13
Motor TG Drive	4,21	1,53	0,83
Planétová převodovka	33,65	3,06	0,41
Planétová převodovka	33,65	3,06	0,41
Úchyt THK	0,88	2,45	10,17
Měnič napětí	1,03	3,67	19,52
Nadřazený ŘS	9,3	4,59	3,37
Suma	1406,87		

Tab. 24 - Souhrnné hodnocení jednotlivých komponentů, výpočet trimovacího faktoru

Níže uvedený graf (**graf 1**) znázorňuje hodnoty trimovacího faktoru a křivku střední hodnoty. Komponenty znázorněné pod křivkou s vyšší hodnotou P+C (P+C – hodnota problémovosti + cena) jsou doporučeny k svinutí (trimmed) jako první. Graf slouží zejména k lepší názornosti výsledků (**Tab. 24**).



Graf 1- Trimovací faktor

6.3.4 Výsledky analýzy

Analýzou navrženého zařízení byly odhaleny hlavní nedostatky u komponentů: měnič napětí a úchyt THK. Měnič napětí je možné z návrhu odstranit za předpokladu patřičných úprav, zejména volbou jiného řídicího systému a akčních členů, u kterých tím naroste cena.

Změnou akčních členů vznikne technický rozpor zvýšeným odběrem energie nebo zhoršením jízdních vlastností, z těchto důvodů měnič napětí ve struktuře zůstane zachován. Hlavním nedostatkem úchyty THK je vysoká cena v poměru k ostatním komponentům a malá hodnota funkčnosti. Úchyt THK slouží k přenesení funkce polohování a upevnění částí efektoru. Při řešení možného snížení ceny konstrukční úpravou daného komponentu došlo k výrazným průhybům, což neblaze ovlivňuje přesnost polohování a celkovou životnost. Možné řešení je ve změně koncepce, což lze provést přesunem komponentu polohování kolem osy y (**obr. 18**) do základu rámu podobně jako u varianty B a C (**Obr. 5 a 7**). Toto řešení je vhodné u zařízení určených k přepravě jednoho kusu dveří, v tomto případě dochází k větší pravděpodobnosti kolize při průjezdu dveřním otvorem. V kritickém místě se prostor mezi přepravovanými dveřmi a rámem zárubně sníží o 84 % tedy na 1,12 cm. Řešení tohoto problému je vhodné hledat při konzultaci s eventuálním výrobcem, který stanoví možná zjednodušení, výrobní postupy a vyplývající snížení ceny. Pro tento účel byl úchyt podroben optimalizaci v programu Pro ENGINEER, čímž bylo dosaženo rozměrových zjednodušení při zachování vlastností. Jak je patrné z výsledků nositelem nejvyšší funkční a P+C hodnoty je rám, tento výsledek je způsoben zejména předpokládanou cenou a mírou funkčnosti. Snížení ceny je obecně vhodné, ale v tomto případě je tento prvek až na 19 pozici prvků doporučených k trimování. V doporučeném pořadí se po uvedených prvcích objevují řídicí systémy jednotlivých akčních členů, které budou zachovány. Náhrada jedním ŘS by byla velice nákladná a složitá.

Seznam odhalených problémů

Název	Skupina
Zlepšení funkce úchyty THK	Zvýšit kvalitu
Zlepšení měnič napětí	Zjednodušit
Zlepšení ŘS TG Drive	Zvýšit kvalitu
Zlepšení ŘS THK	Zvýšit kvalitu
Zlepšení ŘS Schunk	Zvýšit kvalitu

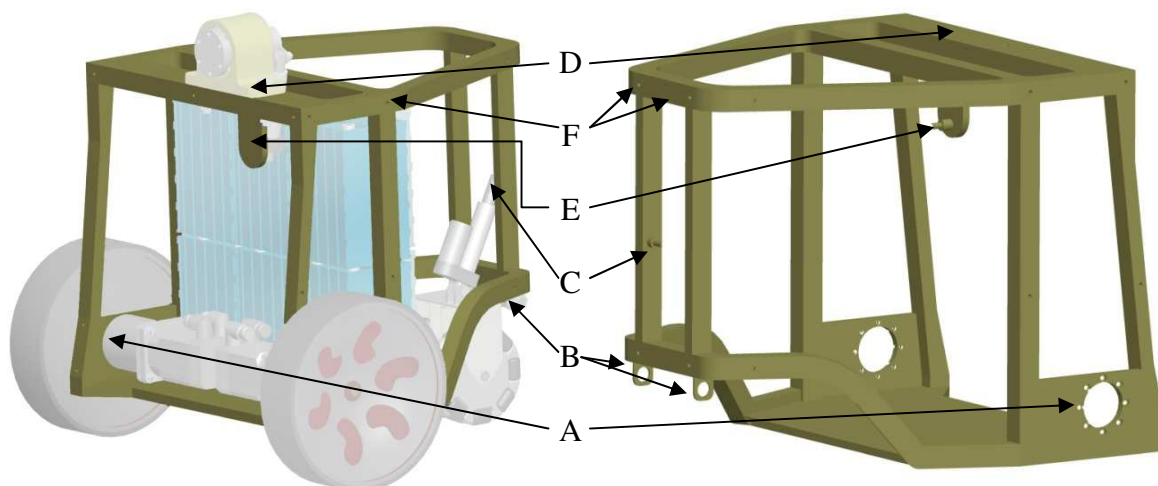
Tab. 25 – Naléhavost problémů

7. Popis komponentů a funkcí

V této části práce je uveden podrobný popis jednotlivých součástí, jejich vlastnosti a funkce ve struktuře. Nedílnou součástí robotu je příslušenství, bez kterého by funkce nemohla proběhnout. Popis a parametry příslušenství jsou uvedeny v příloze E.

7.1 Rám

Konstrukce základního rámu (**obr. 24**) je navržena s důrazem na limitující podmínky odvozené z parametrů budov a umístění veškerých komponentů instalovaných v prostoru rámu. Rám tvoří základ celého robotu, je vyroben z oceli 11 320.0 svařením jednotlivých částí. Použitá ocel je určena k výrobě rámu jízdních kol, motocyklů a dynamicky namáhaných součástí vozidel [2]. Ve spodní části rámu jsou dle požadavků připojovacích rozměrů převodovky navrženy otvory (**A**) k připojení. Úchyty (**B**) určené k montáži osy umožňují polohování všesměrových kol prostřednictvím lineárního aktuátoru upevněného k rámu v místě (**C**). Připojovací rozměry a místo styku (**D**) ložiskového domku s rámem je zesíleno k přenosu namáhání efektozem a OM. Aktuátor určený k polohování efektozem v ose x (**obr. 18**) je upevněn k rámu v místě (**E**). Po obvodu rámu jsou navrženy závitové díry (**F**) určené k montáži plastových krytů. Prostor v zadní části je uzpůsoben rozměrovým požadavkům řídicích systémů, z nichž má většina možnost montáže na DIN lištu. Rám svou hmotností 55,4 kg zároveň napomáhá k vyvážení celého robotu.



Obr. 24 - Rám

7.2 Pohon

Pro pohánění kol byl z katalogu TG Drives vybrán servomotor (**obr. 25 - A**) TGN3-0205 a odpovídající planetová převodovka (**B**) MRP 090. Únosnost převodovky umožňuje montáž kol (LNR 295) přímo na výstupní hřídel. [39]

Parametry motoru:^[39]

- Typ – TGN3-0205
- Hmotnost – 2,5 kg
- Jmenovitý moment – 2 Nm
- Max. moment – 6,2 Nm
- Napájecí napětí – 36 V
- Jmenovitý proud – 11 A
- Jmenovitý výkon – 0,309 kW
- Jmenovité otáčky – 2000 min^{-1}

ŘS – TGA – 24-9/20

- Napájecí napětí – 24 V
- Hmotnost – 0,6 kg
- Příkon 330 W

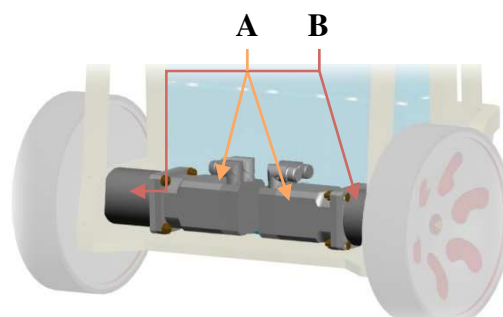
Parametry převodovky MRP 090:^[39]

Vstup

- Jmenovité otáčky - 3500 min^{-1}
- Jmenovitý výkon – 0,4 kW
- Jmenovitý moment – 1,8 Nm
- Rozběhový moment – 3,5 Nm

Výstup

- Jmenovité otáčky – 140 min^{-1}
- Jmenovitý moment – 50 Nm
- Rozběhový moment – 80 Nm
- Hmotnost – 4 kg
- Převodový poměr – $I = 25$
- Radiální zatížení – 2500 N
- Axiální zatížení – 2500 N
- Účinnost – 96 %



Obr. 25



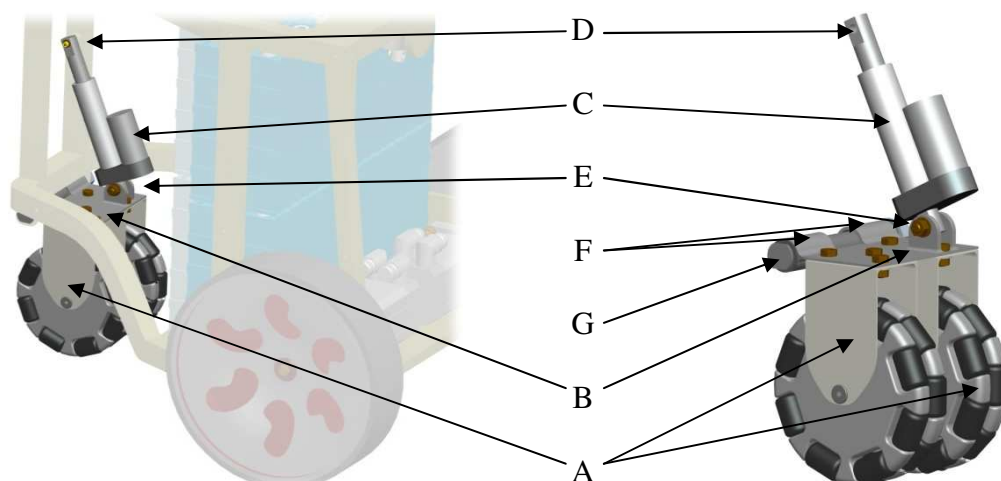
Obr. 26



Obr. 27

7.3 Polohování všesměrových kol

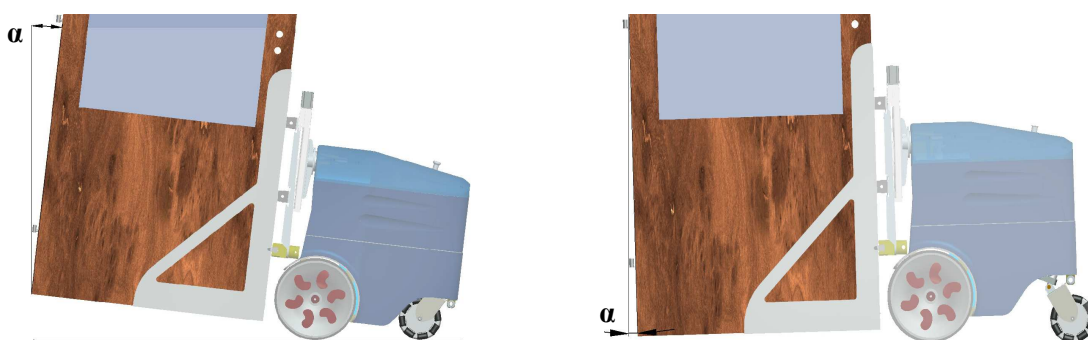
Všesměrová kola (**obr. 28 - A**) jsou náhradou za otočná kola s kladkou a jsou použita na doporučení Goldfire Innovator. Výhodou je možnost polohování (**obr. 29**) při zachování vlastnosti otáčení celého robota, využití standardních otočných kol s kladkou pro tuto funkci není možné, v maximální poloze (**obr. 29**) by došlo ke smýkání a velké prostorové náročnosti při samotném natáčení kol. Všesměrová kola jsou uchycena na základnu (**obr. 28 – B**), která je polohována prostřednictvím lineárního aktuátoru HIWIN LAS3-1 (**C**) upevněného v místě (**D a E**).



Obr. 28 – Polohování všesměrových kol

Základna je osazena kluznými ložisky Igus PFM-2023-30 (**F**), skrze která prochází osa (**G**) vyrobená z materiálu 11 500 dle ČSN. Ložiska jsou bezúdržbová a vhodná pro vyšší zatížení. Osa je upevněna na rámu v místě (**obr. 24 - B**).

Funkcí tohoto uzlu je podpora v zadní části rámu s možností změny polohy, což výrazně zjednodušuje polohování v ose y (**obr. 18**) oproti analyzovaným zařízením. Maximální polohy (**obr. 29**) umožňují polohovat OM v rozmezí $\pm 5,5^\circ$ od nulové polohy. Tato funkce dovoluje osazovat dveře i na zárubně uvedeného odklonu. Na nadřazený řídicí systém je napojen inklinometr (X3M MEMS Inclinometr), důležitý k určení výchozí polohy a následnému polohování.



Obr. 29 – Maximální polohy všesměrových kol

Aktuátor HIWIN LAS3-1 - (obr. 28 – C)

Parametry: ^[54]

- Napájecí napětí – 24 V
- Hmotnost – 1,27 kg
- Síla v tahu – 1200 N
- Síla v tlaku – 1200N
- Statická síla – 1200N
- Rychlost – 7 mm/s
- Zdvih – 150 mm
- Proud – 2,5 A
- Optický senzor – 0.31 mm/puls
- Potenciometr – 10,5 Ohm/mm



Obr. 30

ŘS – LAK2 F 0 24 G E

- Počet aktuátorů – 1 až 2
- Napájecí napětí – 24 V
- Záložní baterie – 2,9 Ah

Všesměrová kola RMT-2125-95 - (obr. 28 – A)

Parametry: ^[55]

- Zatížení – 160 kg
- Boční zatížení – 80 kg
- Připojovací rozměry – 58 x 74 mm
- Segmenty – polyuretan S95A
- Průměr segmentů – 20 mm
- Průměr kola – 125 mm



Obr. 31

Kluzné pouzdro PFM-2023-30 - (obr. 28 – F)

Parametry: ^[37]

- Bezúdržbové
- Schopnost přenosu vysokých zatížení
- Nízké hodnoty opotřebení
- Nízká absorpce vody
- Dovolенý tlak na povrchu – 50 Mp



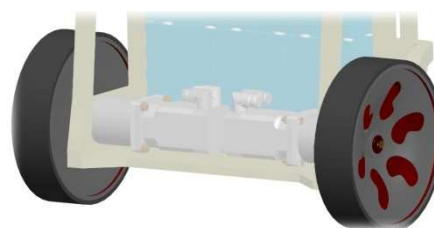
Obr. 32

Přední kola

Použitá kola rozměrově vycházejí z typu MONTAKO – LNR 295.

Parametry: ^[56]

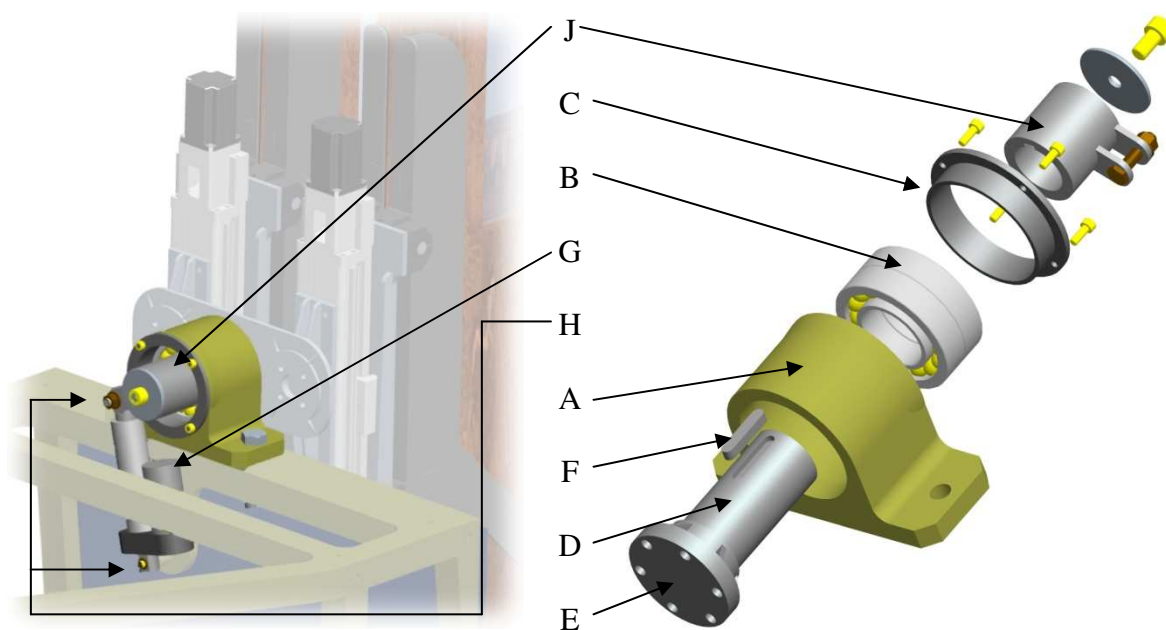
- Průměr – 295 mm
- Šířka – 70 mm
- Nosnost – 385 kg
- Připojovací průměr – 22 mm



Obr. 33

7.4 Polohování efektoru

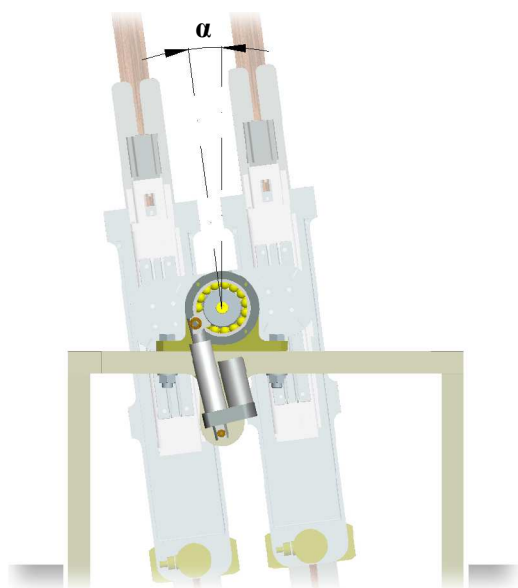
Základ tohoto uzlu tvoří ložiskový domek (**A** – **obr. 34**) osazený dvojicí ložisek s kosoúhlým stykem (**B**) uspořádaných čely k sobě. Uchycení ložisek zabezpečuje víčko (**C**), upevněné šrouby k domku [4]. Skrze ložiska prochází hřídel (**D**) na kterou je v části (**E**) připojen efektor. Na druhé části hřídele je navržena drážka pro pero (**F**), na které se umístí segment (**J**) přenášející sílu od Aktuátoru HIWIN (**G**) upevněného v místech (**H**). Ložiskový domek a hřídel jsou vyrobeny z materiálu 11 500.0 dle ČSN určeného na staticky a dynamicky namáhané součásti [2].



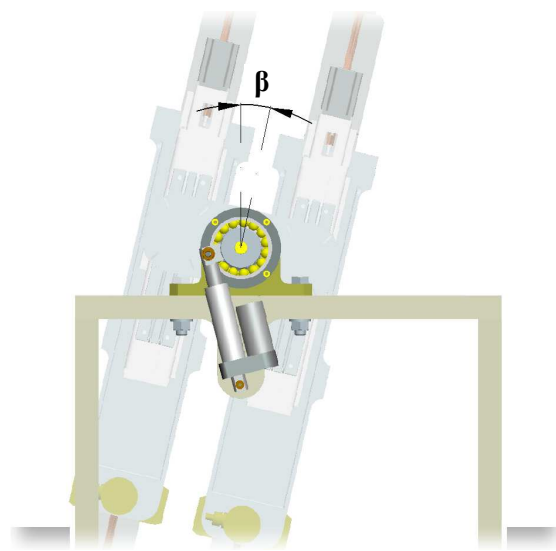
Obr. 34 – Polohování efektoru

Mechanismus je navržen k odklonu efektoru v ose x (**obr. 18**) o úhel 0–7° na levou stranu (**obr. 35**) a 0–20° na stranu pravou (**obr. 36**). Hodnota $\pm 7^\circ$ vychýlení od nulové polohy vychází z geometrických přesností při výstavbě a vztahuje se na toleranci při osazování zárubně. Robot je schopen osadit dveře na zárubně v této toleranci. Možnost

vychýlení efektoru o 0–20° na pravou stranu (**obr. 36**) je nezbytná při průjezdu dveřním otvorem. Úhel vychýlení je rozdílný pro jednotlivé rozměry dveří, u nejčastěji osazovaných dveří (1970/800 mm) je to hodnota 13°, která je zároveň považována za minimální.



Obr. 35- Maximální poloha A (-7°)



Obr. 36 – Maximální poloha B (+20°)

Aktuátor HIWIN LAS3-1 - (obr. 34 – G)

Parametry: ^[54]

- Napájecí napětí – 24 V
- Hmotnost – 1,27 kg
- Síla v tahu – 1200 N
- Síla v tlaku – 1200 N
- Statická síla – 1200 N
- Rychlost – 7 mm/s
- Zdvih – 50 mm
- Proud – 2,5 A
- Optický senzor – 0.31 mm/puls



Obr. 37

ŘS – aktuátor je napojen na totožný ŘS - LAK2 F 0 24 G E

Ložiska SKF 2x7209 BECBJ 2RS - (obr. 34 – B)

Parametry páru: ^[36]

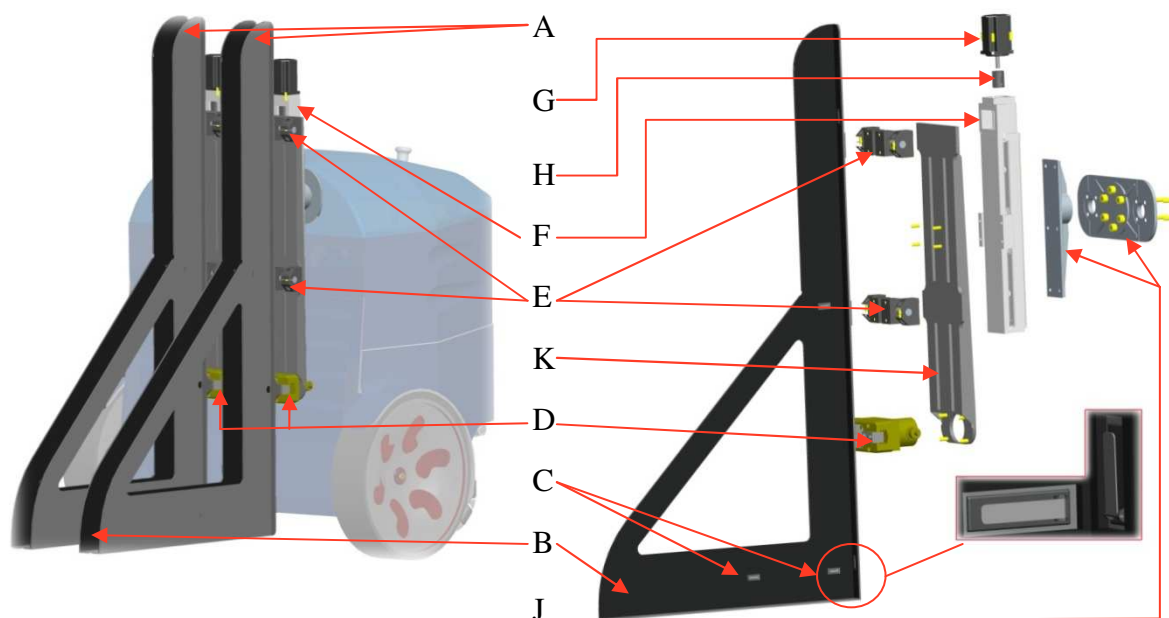
- Únosnost dynamická – C = 61,8 kN
- Únosnost statická – C₀ = 56 kN
- Hmotnost – 0,86 kg



Obr. 38

7.5 Efektor

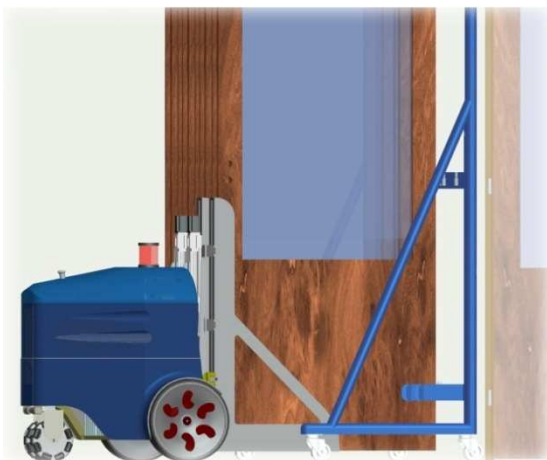
Efektor (**obr. 39**) je schopen uchopit dvojici dveří z připraveného dopravníku (**obr. 40**). Čelisti (**obr. 39 - A**) jsou vyrobeny z materiálu 11 500.0 a na jejich vnitřní straně je nalepená gumová podložka Schunk HKI 1E (**B**), která v místě uchycení chrání povrch dveří proti poškození a zároveň na stykové ploše zvyšuje tření. Čelisti jsou osazeny mikro-spínači (**C**), pomocí kterých si robot určí typ dveří (levé/pravé) a zároveň polohu dveří před sevřením. Síla úchopu je vyvozena modulem Schunk EGN 100 (**D**), který umožňuje rozevření 4–10 cm, což postačuje k uchopení dveří. Princip použití modulu byl konzultován s technickým oddělením firmy Schunk, kde technik potvrdil možnost využití modulu v této aplikaci uvedeným způsobem. Na modul působí jen část momentu vyvozeného OM, který je dle katalogových hodnot v doporučených mezích. Hlavní část momentu je zachycena lineárním vedením (**E**) složeným z komponentů Igus. Výše uvedené prvky jsou uchyceny na nosnou základnu (**K**). Polohování efektoru ve vertikální ose umožňuje lineární jednotka THK KR45H (**F**) poháněná motorem MICROCON (**G**). Motor je s lineární jednotkou propojen pružnou spojkou Multi-Beam (**H**). Důležitou vlastností zvolené jednotky THK je přenos velkých klopných momentů. Lineární jednotky jsou přišroubovány na úchyt (**J**), který se následně montuje na hřídel (**obr. 34 - D**), jejíž funkce byla popsána výše. Navržené díly jsou vyrobeny z materiálu 11 500.0 určeného na výrobu dynamicky a staticky namáhaných dílů [2].



Obr. 39 - Efektor

Polohování efektoru jednotkou THK je v kombinaci s ostatními funkcemi jednou z nejvíce využívaných. Slouží k odběru dveří ze zásobníku (**obr. 40**) a následně k

samotnému osazení (**obr. 41**). Po osazení dveří je velikost mezery mezi podlahou a efektozem minimálně 3 mm, mezi efektozem a dveřmi 4 mm. Hodnoty vycházejí z předepsané velikosti mezery mezi podlahou a dveřmi s přihlédnutím na možnost chyby při osazování zárubně a chyby polohování, proto je stanovena tolerance 10 %.

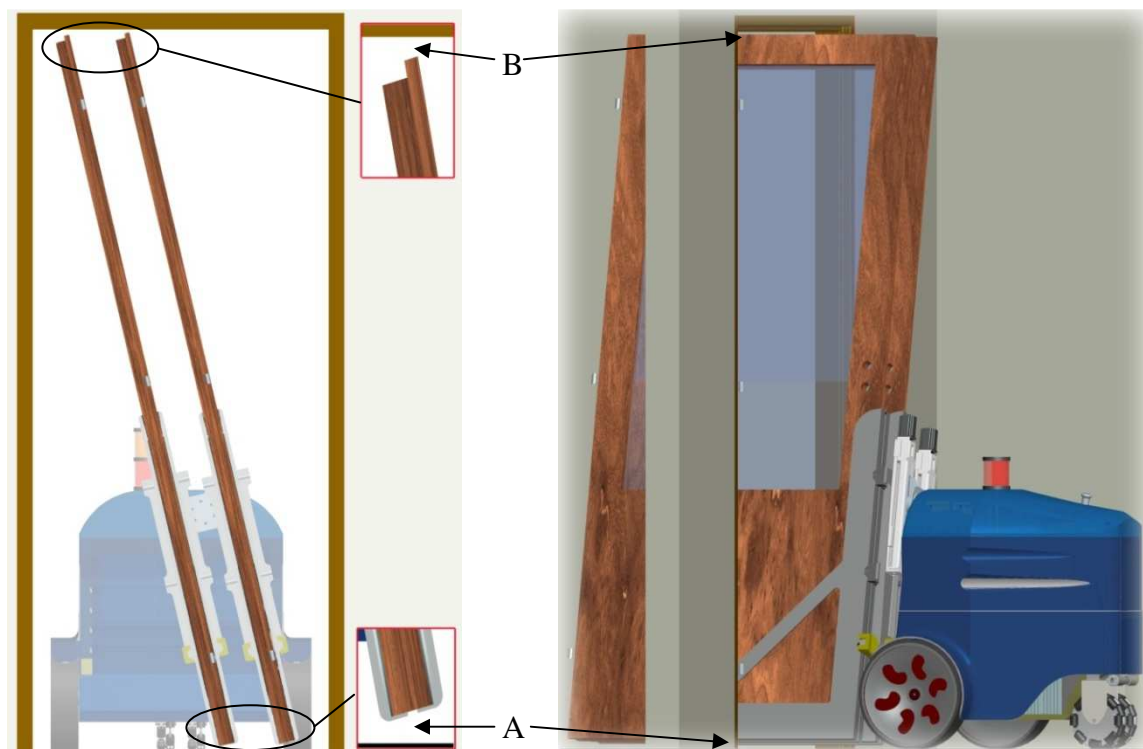


Obr. 40



Obr. 41

Využitím funkcí odklonu efektozu (**obr. 36**) a změny polohy prostřednictvím jednotek THK je robot schopen průjezdu dveřním otvorem s dvojicí dveří (**obr. 42**). Hodnota změny polohy je závislá na rozměrech dveří a úhlu natočení efektozu. V případě dveří o rozměrech 1970/800 mm se efektoz natočí o 13° , levá čelist se přesune o 50 mm a pravá o 20 mm směrem k podlaze. Operace proběhnou v uvedeném pořadí, poté je robot připraven k průjezdu.



Obr. 42

V „kritickém“ okamžiku průjezdu je vůle mezi podlahou a hranou efektoru (**obr. 42 - A**) 3 cm, stejně jako mezi hranou dveří a zárubní (**B**). Tyto hodnoty byly stanoveny po úvaze, při které byly zváženy geometrické přesnosti budov, složitost řízení a možnost kolize. Na podlahy se v dnešní době používá finální nivelační vrstva v kombinaci s laserovou technologií – firmy zaručují ideální rovinnost, z čehož plyne možnost spuštění efektoru na danou úroveň. Vzdálenost mezi svislou plochou zárubně a dveřmi je 10 cm při pootočení efektoru o 13° (**obr. 42**).

THK KR45H-A - (**obr. 39 - F**)

Parametry: ^[38]

Lineární vedení

- Dynamické zatížení – 23 300 N
- Statické zatížení – 39 200 N

Kuličkový šroub

- Dynamické zatížení – 3 140 N
- Statické zatížení – 6 760 N
- Průměr – 15 mm
- Stoupání – 10 mm

Senzory

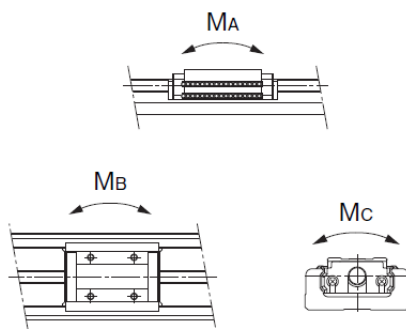
- Foto-senzory
- Senzory přiblížení

Povolený moment

- M_A – 486 Nm
- M_B – 486 Nm
- M_C – 925 Nm



Obr. 43



Obr. 44

Krokový motor Microcon SX23-1020 - (**obr. 39 - G**)

Parametry: ^[52]

- Moment – 2 Nm
- Proud – 1,05 / 2,1 A
- Hmotnost – 0,7 kg
- Moment setrvačnosti – $0,03 \text{ kgm}^2 \cdot 10^{-3}$

ŘS – CD30x

- Napájecí napětí – 24 V
- Amplituda proudu – 0,4–2 A



Obr. 45

Schunk EGN 100 - (obr. 39 - D)

Parametry: ^[20]

- Zdvih na čelist – 30 mm
- Síla úchopu min./max. – 170/720 N
- Hmotnost – 1,35 kg
- Přesnost při opakování – 0,01 mm
- Rychlost max. – 80 mm/s
- Napájecí napětí – 24 V
- Proud – 2,3 A



Obr. 46

ŘS – MCS12

- Napájecí napětí – 24 V
- Hmotnost – 0,98 kg

Lineární vedení IGUS - (obr. 39 - E)

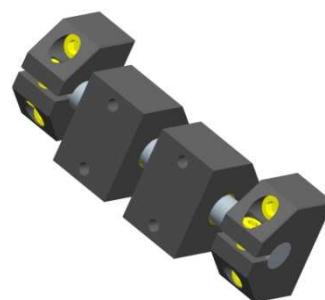
Parametry: ^[37]

Koncový úchyt hřídele WA-12

- Materiál – hliník
- Hmotnost – 0,1 kg

Ložiskový domeček RJUM-05-12

- Materiál eloxovaný hliník
- Kluzná vložka – JUM-02
- Hmotnost – 78 g



Obr. 47

Hřídel AWMO - 12

- Materiál – hliník
- Hmotnost – 0,04 kg
- Tření stykových ploch – 0,2
- Průhyb při maximálním zatížení $y = 0,058\text{mm}$
- Ohybové napětí 59 MPa

Spojka Multi-Beam (obr. 39 - H)

Parametry: ^[52]

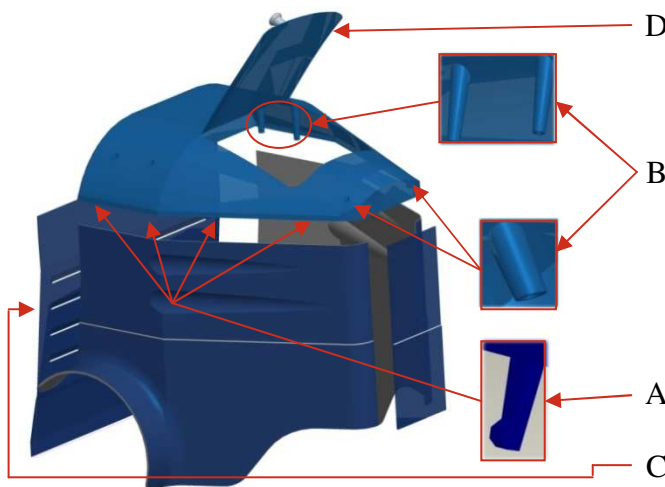
- Spirálová válcová spojka
- Maximální moment 140 Nm
- Maximální otáčky 5000 min^{-1}



Obr. 48

7.6 Kryty

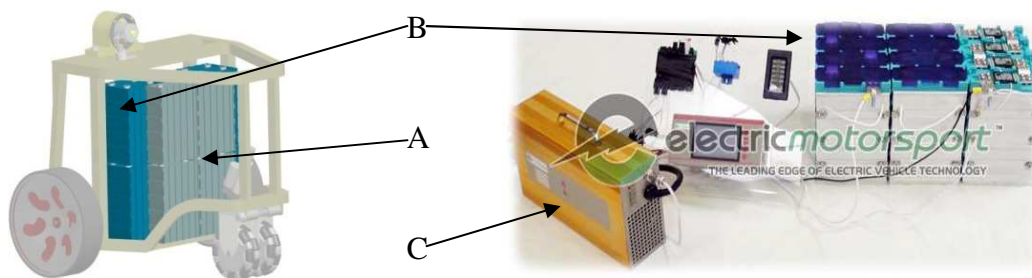
Kryty (**Obr. 49**) chrání funkční části robotu, především řídicí systémy, elektroinstalaci a motory. V místech styku krytů jsou navrženy protichůdné spony (A) - (SNAP FIT) a osazení (LIP) jednotlivých dílů, tyto prvky zaručují slícování dílů a zabráňují hluku při vibracích (drkotání plastů). Kryty jsou k rámu přišroubovány pomocí otvorů s osazením (B) – (BOSS). Dvířka (D) umožňují rychlý přístup k nadřazenému řídicímu systému a příslušenství. Přední kryt (C) je opatřen průduchy k odvodu tepla od motorů a nabíjecích modulů baterií. Po obvodu krytů jsou navrženy otvory k upevnění senzorů a příslušenství jako maják nebo STOP tlačítko. Kryty jsou vyrobeny z PP Mosten MA 611. [26]



Obr. 49

7.7 Baterie

Baterie jsou rozděleny do dvou skupin, pro řídicí systém GBS 24v (**obr. 50 - A**) a akční členy (motory) GBS 36v (**B**). Skupina určená akčním členům má napětí 36 V s kapacitou 160 Ah. Tato hodnota je stanovena z požadavků motorů TG Drives, ostatní členy pro svůj chod vyžadují napětí pouze 24 V, proto je do soustavy přidán napěťový měnič SD-200C-24 popsán v kap. 6.3.4. Baterie určené pro řídicí systém poskytují napětí 24 V s kapacitou 100 Ah. Předností zvolených baterií jsou kompaktní rozměry, volitelná kapacita a napětí, baterie jsou vyráběny především pro vozidla s hybridním pohonem. V tomto případě je doba činnosti stanovena na 7,5 hod (výpočet viz příloha F). Zvolený set je dodáván s nabíječkou, LCD indikátorem stavu baterií a zvukovou signalizací. Doba nabíjení je dle katalogových hodnot 6,7 hod (GBS 36v) a 4,3 hod (GBS 24v). Měnič napětí s nabíječkou (**C**) jsou umístěny v prostoru nad motory TG Drives.[48]



Obr. 50

7.8 Senzorické vybavení a orientace robotu

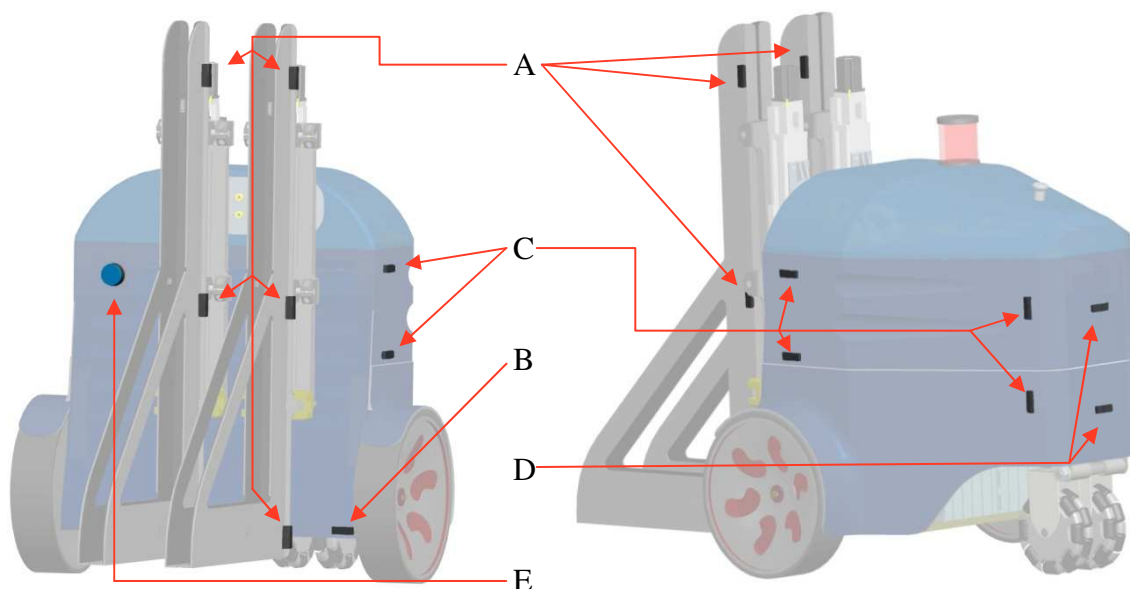
Důležitou součástí navrženého robotu je senzorický systém a nadřazený řídicí systém. Hlavním úkolem senzorů je detekce dveřního otvoru s neosazenými dveřmi, následně detekce rozměrů zárubně, umístění pantů a přesné polohování před osazením. Řešit tyto operace jednotlivě pomocí senzorů je velice nákladné a při činnosti robotu zdoluhavé, proto byl navržen rádiový maják (**obr. 51**), který operátor umístí vždy do levého horního rohu zárubně. Před umístěním maják zapne a nastaví potřebné parametry – šířka (800/900/1100), typ (pravé/levé) a umístění dveří (indoor/outdoor). Maják je opatřen magnety k jednoduchému upevnění na kovovou zárubeň, v případě montáže na obložkové zárubně je vhodné využít nanopodložku nebo přísavky. Při průjezdu okolo robot zachytí signál a získá přednastavenou informaci, podle které přizpůsobí další činnost a vyhne se zdoluhavému monitorování. Po osazení dveří robot vyšle signál na maják a tím ho deaktivuje, čímž se zabrání možnému osazování dveří na již osazené. Maják je vybaven rádiovým modulem ENOCEAN GD-04R umožňujícím vysílání, regulaci a příjem, přičemž na výstup lze nastavit čtyři hodnoty prostřednictvím tlačítek. K zpětné deaktivaci a přijímání informace robotem je použit modul RCM 152 stejného výrobce [45]. Zde je nutné provést zkoušky na prototypu, kde se přesně nastaví dosah vysílačů tak, aby nedocházelo k mísení signálů nebo vypnutí okolních majáků robotem po osazení dveří.



Obr. 51

Samotné osazení dveří vyžaduje pečlivé polohování, a tedy přesné určení polohy pantů, výhodou jsou normalizované rozměry zárubní a umístění pantů. Pro tuto funkci byl zvolen laserový skener (Hokuyo URG-04LX) a IR senzory k měření vzdálenosti montované vždy ve dvojicích, jeden na vzdálenost 10–80 cm (GP2Y0A21), druhý 50–350 cm (GP2Y0A710) [47], k zamezení mísení signálu jsou IR spínány v různých časových intervalech. IR senzory jsou umístěny na čelistech efektoru (**obr. 52 - A**) a krytech robotu (**B, C a D**). Hodnoty získané z IR senzorů na efektoru vypovídají o vzdálenosti zárubně a případném odklonu, senzory na skeletu robotu určují polohu

v místnosti, natočení vůči zárubni a současně zabraňují možné kolizi. Laserový skener umístěný na přední straně (E) určuje odklon zárubně v ose y (**obr. 18**), za jízdy má funkci kontroly prostředí před robotem a správnosti najíždění do dveřního otvoru. Získáním potřebných hodnot o poloze vůči zárubni a porovnáním s předdefinovanými hodnotami robot může dveře osadit.



Obr. 52

Úkolem nadřazeného řídicího systému (dále jen NŘS) je vyhodnocení údajů senzorů a přeposlání určité informace na dílčí řídicí systém daného prvku. Dílčí řídicí systémy jsou dodávány s programy k předdefinování parametrů, tyto programy budou uloženy v NŘS pro dané parametry dveří. Obsluha pouze zvolí typ dveří, který bude používán. Poté NŘS nahraje do dílčích ŘS předdefinované programy. Jako NŘS je zvolena jednotka Pantek-wonderware PC (**obr. 53**) pracující pod operačním systémem Windows XP, nutným pro dříve zmíněné aplikace. Jednotka je určená pro náročné aplikace v prašném prostředí s výskytem vibrací. Výhodou je možnost připojení až 15“ dotykového displeje dodávaného též firmou, který je umístěn pod dvířky krytu (**obr. 49 - D**). Vstupy jednotky umožňují připojení použitých senzorů a ŘS.



Obr. 53

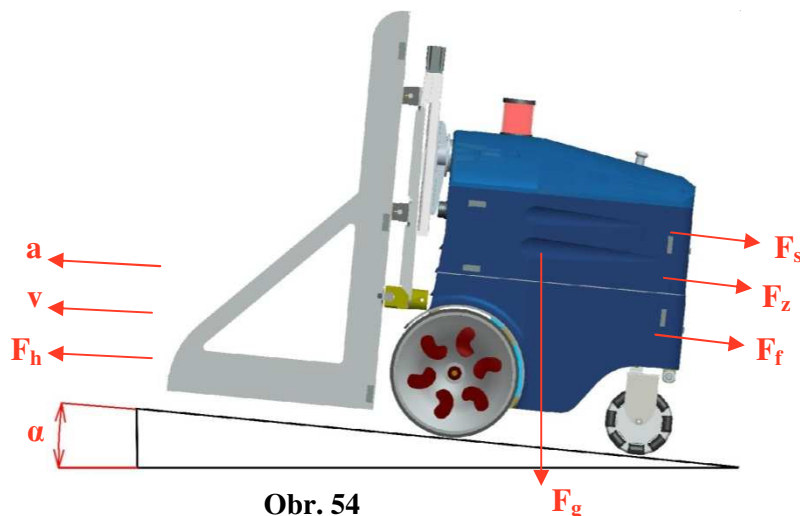
K jednotce bude dále připojen gamepad umožňující přímé řízení robotu obsluhou od vozidla k místu vykonávání funkce. Napájení displeje a NŘS je 24 V.[41,42]

Návrh senzorického a řídicího systému není cílem této práce, proto je zmíněn jen obecně.

8. Návrhové a kontrolní výpočty základních konstrukčních prvků

8.1 Návrh pohonu

Na **obr. 54** jsou znázorněny působící síly potřebné k návrhu pohonu. Vzhledem k rychlosti robotu a pohybu pouze v budovách je odpor prostředí zanedbán [1].



Obr. 54

Legenda:

F_f - valivý odpor

F_z - odpor zrychlení

F_s - odpor stoupání

F_g - tíhová síla

F_h - síla potřebná pro pohyb robotu

α - úhel stoupání rampy

Vstupní hodnoty:

- rychlost robotu	$v = 1,25 \text{ m/s}$
- zrychlení robotu	$a = 0,42 \text{ m/s}^2$
- hmotnost robotu	$m_r = 246 \text{ kg}$
- poloměr poháněného kola	$r = 0,147 \text{ mm}$
- součinitel valivého odporu	$f_k = 0,02$
- tíhové zrychlení	$g = 9,82 \text{ m/s}^2$
- stoupání rampy	8 %
- hmotnost OM	$m_{OM} = 100 \text{ kg}$

Výpočet:

Síla potřebná pro pohyb robotu ^[1]

$$F_h = F_f + F_z + F_s \quad (7.1)$$

Dosazením níže uvedených vztahů do (7.1) dostaneme:

$$F_h = f \cdot G \cdot \cos \alpha + \vartheta \cdot m_r \cdot a + G \cdot \sin \alpha \quad (7.2)$$

Odpor valivý F_f

Celkový valivý odpor je určen sečtením valivých odporů na jednotlivých kolech robotu. Pro jedno kolo platí vztah

$$F_{fK} = Z_K \cdot f_K \quad (7.3)$$

kde: Z_K -radiální reakce vozovky
 f_K -součinitel valivého odporu kola

pro celý robot potom platí:

$$F_f = \sum_i O_{fKi} \quad (7.4)$$

kde: i -počet kol robotu

Za předpokladu, že všechny kola budou mít stejnou hodnotu součinitele valivého odporu, bude platit vztah:

- pro jízdu po rovině

$$F_f = f \cdot G \quad (7.5)$$

- pro jízdu na nakloněné rovině pod úhlem α

$$F_f = f \cdot G \cdot \cos \alpha \quad (7.6)$$

kde: f -součinitel valivého odporu (dlažba)
 G -tíhová síla robotu
 α úhel mezi vodorovnou a nakloněnou rovinou

$$F_f = 0,02 \cdot 3397,7 \cdot \cos 4,5$$

$$\underline{F_f = 67,7 N}$$

Odpor stoupání F_s

Odpor stoupání vzniká při jízdě po rampě určené pro invalidy, tyto rampy mají normalizovaný sklon 8 %. Robot vjíždí do budovy bez OM.

Pro stoupání platí:

$$s = \frac{l}{h} = \operatorname{tg} \alpha \quad (7.7)$$

$$\alpha = 4^{\circ}30'$$

Velikost odporu stoupání je dána vztahem:

$$F_s = \pm G \cdot \sin \alpha \quad (7.8)$$

$$F_s = 2592,5 \cdot \sin 4,5$$

$$\underline{F_s = 203,4 N}$$

kde znaménko plus platí pro jízdu do svahu (odpor proti pohybu) a naopak znaménko mínus pro jízdu ze svahu (napomáhá pohybu).

Odpor zrychlení F_z

Setrvačný odpor vzniká při změně rychlosti jízdy robotu. Při zrychlování působí proti směru jízdy, naopak při zpomalování po směru jízdy. Velikost setrvačného odporu je dána vztahem:

$$F_z = F_{zp} + F_{zr} \quad (7.9)$$

Skládá se ze dvou složek:

- Z odporu zrychlení posuvné části o hmotnost

$$F_{zp} = m_c \cdot a \quad (7.10)$$

kde: m_c - hmotnost robotu +OM

a - zrychlení

- Z odporu zrychlení otáčejících se částí

$$F_{zr} = \frac{M_r}{r_d} \quad (7.11)$$

kde: M_r - setrvačný moment rotačních částí robotu

r_d - dynamický poloměr kola

Setrvačný moment rotačních částí se skládá z momentu na hnacích kolech (potřebný na zrychlení rotujících částí motoru), momentu, který je nutný pro zrychlení rotujících částí převodového ústrojí, a momentu, který je potřebný ke zrychlení kol robotu.

Výsledný odpor zrychlení lze uvést ve tvaru:

$$F_z = \left[1 + \frac{(J_m \cdot i_c^2 + J_p \cdot i_r^2) \cdot \eta + \sum J_{Ki}}{m_c \cdot r_d^2} \right] \cdot m_c \cdot a = \vartheta \cdot m_c \cdot a \quad (7.12)$$

kde: J_m - hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí motoru

i_c - celkový převod mezi motorem a hnacími koly

J_p - hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí převodového ústrojí

η - mechanická účinnost

J_{Ki} - hmotnostní moment setrvačnosti hnaného kola

ϑ - součinitel vlivu rotačních částí

Pro zjednodušení výpočtu je zaveden bezrozměrný součinitel vlivu rotačních částí $\vartheta = 1,2$ odečtený z grafu závislosti převodového poměru na součiniteli rotačních částí. [10]
Dosazením do (7.12):

$$F_z = \vartheta \cdot m_c \cdot a \quad (7.13)$$

$$F_z = 1,2 \cdot 346 \cdot 0,42$$

$$\underline{F_z = 174,4N}$$

Požadovaný výkon pohonné jednotky

Robot je poháněn dvojicí motorů – diferenciální řízení.

$$P_H = \frac{1}{2} F_H \cdot v = \frac{M_K}{r_d} \cdot v \quad (7.14)$$

$$P_H = \frac{1}{2} (67,7 + 203,4 + 174,4) \cdot 1,25 = \underline{277,8W}$$

Předběžný výkon je 277,8 W. Do výsledného výkonu je potřeba zahrnout ztráty způsobené účinnostmi převodů, nepřesností výroby a nepřesným určením součinitele rotačních odporů ϑ . Proto je nutné výkon motoru předimenzovat bezpečnostním faktorem k_B . Faktor k_B volím 1,1. [5]

$$P'_H = P_H \cdot k_B = 277,8 \cdot 1,1 = 305,5W = \underline{0,3055kW} \quad (7.15)$$

Požadovaný moment z výkonu na výstupu převodovky

$$M_K = \frac{P'_H \cdot r}{v} = \frac{305,5 \cdot 0,1475}{1,25} = \underline{36,1Nm} \quad (7.16)$$

Požadované otáčky na výstupu z převodovky

$$n = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot 60 = \frac{1,25}{2 \cdot \pi \cdot 0,1457} \cdot 60 = \underline{79,8 \text{ min}^{-1}} \quad (7.17)$$

Pro výběr pohonu byly získány následující parametry:

- požadovaný moment $M_K = \underline{36,1Nm}$
- požadovaný výkon $P'_H = \underline{0,3055kW}$
- požadované otáčky $n = \underline{79,8 \text{ min}^{-1}}$

Pro vypočtené hodnoty byl z katalogu TG Drives vybrán servomotor TGN3-0205 (**obr. 25 – A**) a odpovídající planetová převodovka MRP 090 (**obr. 25 – B**).

Kontrolní výpočet

Pro kontrolu navrženého pohonu je potřeba provést kontrolní výpočet s přesným dosazením momentů setrvačnosti podle vztahu:

$$P_H = \frac{1}{2} F_h \cdot v = \frac{1}{2} \left(f \cdot G \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha + m_c \cdot a + \frac{1}{r} \cdot J_C \cdot \varepsilon \right) \cdot v \quad (7.18)$$

$$P_H = \frac{1}{2} \left(0,02 \cdot 3397,7 \cdot \cos 4,5 + 2592,5 \cdot \sin 4,5 + 346 \cdot 0,42 + \frac{1}{0,1475} \cdot 0,0541 \cdot 3,05 \right) \cdot 1,25$$

$$P_H = \frac{1}{2} (67,7 + 203,4 + 145,32 + 1,12) \cdot 1,25 = \underline{261W}$$

Celkový moment setrvačnosti:

$$J_C = J_m + J_p + J_{Ki} = 0,0541 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (7.19)$$

- moment setrvačnosti pohonné jednotky

$$J_m = 0,55 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- moment setrvačnosti převodovky

$$J_p = 5 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- moment setrvačnosti hnaných kol

$$J_{Ki} = 2 \cdot m_k \cdot r^2 = 2 \cdot 1,25 \cdot 0,1475^2 = 54 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (7.20)$$

kde hmotnost kola je $m_k = 1,25 \text{ kg}$

Úhlové zrychlení

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{0,42}{0,1475} = 3,05 \text{ rad/s}^2 \quad (7.21)$$

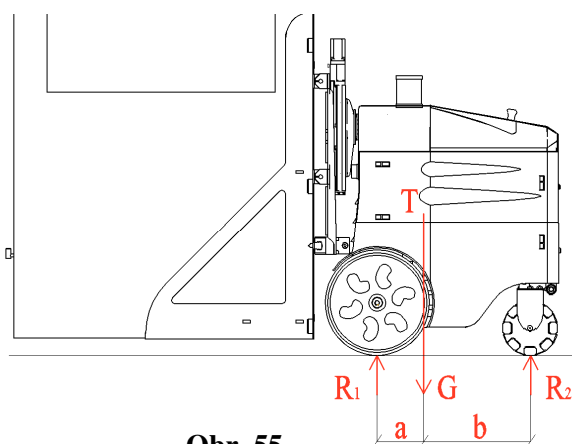
Přepočet momentu a otáček na výstup z motoru

$$M_{KM} = \frac{M_K}{i \cdot \eta} = \frac{36,1}{25 \cdot 0,96} = 1,51 \text{ Nm}$$

$$n_M = n \cdot i = 79,8 \cdot 25 = 1995 \text{ min}^{-1}$$

Zatížení převodovky

Kola robotu jsou upevněna přímo na hřídel převodovky, která umožňuje radiální zatížení 2500 N. (Zatěžováno uprostřed výstupní hřídele.) Hřídel je zatěžována hmotností robotu + OM. Poloha těžiště (**T – obr. 55**) je určená v programu Pro ENGINEER.

**Obr. 55**

$$a = 130 \text{ mm}$$

$$b = 306 \text{ mm}$$

$$c = 33 \text{ mm}$$

$$d = 19 \text{ mm}$$

$$m_r = 246 \text{ kg}$$

$$m_{OM} = 100 \text{ kg}$$

$$G = 3\,397,7 \text{ N}$$

$$\sum F_y = R_1 + R_2 - G = 0 \quad (7.22)$$

$$\sum M = M_G - M_2 = 0 \quad (7.23)$$

$$M_1 = G \cdot a - R_2 \cdot (a + b) \quad (7.24)$$

$$R_2 = \frac{G \cdot a}{a + b} = \frac{3397,7 \cdot 0,13}{0,13 + 0,306} = \underline{1013N} \quad (7.25)$$

$$R_1 = G - R_2 = 3397,7 - 1013 = 2384,7 \text{ N} \quad (7.26)$$

Reakce působící na přední kola se jednotlivě rozloží. Sílu působící ve středu náboje kola je potřeba vyčíslit na střed hřídele převodovky.

Reakce působící na jedno kolo:

$$R_K = \frac{R_1}{2} = \frac{2384,7}{2} = 1192 N \quad (7.27)$$

Radiální zatížení hřídele převodovky:

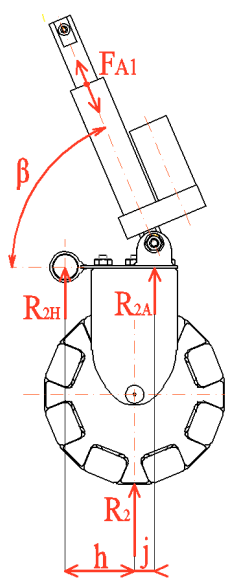
$$\sum M_p = R_K \cdot c - R_3 \cdot d = 0 \quad (7.28)$$

$$R_3 = \frac{R_k \cdot c}{d} = \frac{1192 \cdot 0,033}{0,019} = \underline{2071N} \quad (7.29)$$

Radiální zatížení je v přípustné toleranci převodovky.

8.2 Polohování všesměrových kol

Výpočet lineárního aktuátoru:



Obr. 56

$$R_2 = 1013 \text{ N}$$

Vodorovná poloha:

$$\beta_0 = 67,15^\circ$$

Max. poloha A (obr. 29)

$\beta_1 = 90^\circ$

Max poloha B (obr. 29)

$$\beta_2 = 49,8^\circ$$

$$h = 60 \text{ mm}$$

j = 17 mm

Rozložení reakce R₂:

$$R_{2A} = \frac{R_2 \cdot h}{(h + j)} = \frac{1013 \cdot 0,06}{(0,06 + 0,017)} = 789,4N \quad (7.30)$$

Vodorovná poloha (β_0):

$$F_{A1} = \frac{R_{2A}}{\sin \beta_0} = \frac{789,4}{\sin 67,15} = \underline{856,6N} \quad (7.31)$$

Max. poloha A (β_1):

$$F_{A1} = \frac{R_{2A}}{\sin \beta_1} = \frac{789,4}{\sin 90} = 789,4N \quad (7.32)$$

Max. poloha B (β_2):

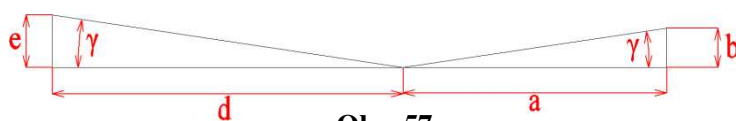
$$F_{A1} = \frac{R_{2A}}{\sin \beta_2} = \frac{789,4}{\sin 49,8} = 1034N \quad (7.33)$$

Velikost zdvihu aktuátoru:

$$\beta_2 \rightarrow \beta_1 = 49,8^\circ \rightarrow 90^\circ \quad (7.34)$$

$$l = 0 \rightarrow 79,4mm$$

Závislost úhlu natočení OM a všesměrových kol:



Obr. 57

$$a = 436 \text{ mm}$$

$$d = 1026 \text{ mm}$$

Hodnota b je závislá na úhlu natočení všesměrových kol β .

$$b_0 = 0mm \rightarrow \beta = 67,15^\circ$$

$$b_1 = 41mm \rightarrow \beta = 49,8^\circ$$

$$b_2 = -45mm \rightarrow \beta = 90^\circ$$

Úhel natočení efektoru a samotných dveří:

$$\cos \chi_1 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b_1^2}} = \frac{0,436}{\sqrt{0,436^2 + 0,041^2}} \quad (7.35)$$

$$\chi_1 = 5,57^\circ$$

$$\cos \chi_2 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b_2^2}} = \frac{0,436}{\sqrt{0,436^2 + 0,045^2}} \quad (7.36)$$

$$\chi_1 = 5,89^\circ$$

Kontrola kolize OM s podlahou:

$$\cos \chi_1 = \frac{d}{\sqrt{d^2 + e^2}} \quad (7.37)$$

$$e = \sqrt{\left(\frac{d}{\cos \chi_1}\right)^2 - d^2} = \sqrt{\left(\frac{1,026}{\cos 5,57}\right)^2 - 1,026^2} = 0,1m$$

Z výsledků je patrná možnost polohování OM v hodnotách $\pm 5,5^\circ$ kolem osy y (obr. 18)

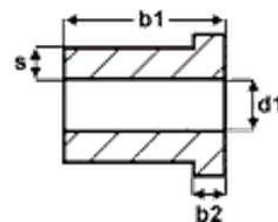
z výchozí polohy 0. V případě polohování dveří směrem k podlaze (obr. 29) je zapotřebí

programově zaručit současné zvedání dveří jednotkou THK tak, aby nedošlo ke kolizi s podlahou. Tato situace nastává od úhlu $2,89^\circ$ natočení robotu kolem osy y. Dle vypočtených hodnot byl zvolen lineární aktuátor firmy HIWIN LAS3 – 1 (**obr. 28 – C**).

Kontrola pouzdra iglidur PFM-2023-30

Pouzdro bylo voleno a následně kontrolováno na stránkách Igus [21].

- Průměr hřídele $d_1 = 20$ mm
- Délka pouzdra $b_1 = 30$ mm
- Tloušťka příruby $b_2 = 3$ mm
- Maximální zatížení pouzdra $R_{2L} = 111,8$ N
- Průměrný plošný tlak $P = 0,207$ N/mm²
- Druh pohybu – kývavý
- Životnost $t = 2425987$ hod



Obr. 58

Maximální zatížení pouzdra:

Dosazením do (7.30):

$$R_{2H} = \frac{R_2 \cdot J}{(h + j)} = \frac{1013 \cdot 0,017}{(0,06 + 0,017)} = \underline{223,6N} \quad (7.38)$$

Základna je osazena dvojicí ložisek, proto:

$$R_{2L} = \frac{R_{2H}}{2} = \frac{223,6}{2} = \underline{111,8N} \quad (7.39)$$

8.3 Polohování efektoru v ose x

Pro stanovení krouticího momentu, kterého je třeba k otočení efektoru + OM o požadovaný úhel v daném čase, musí být stanoveny následující údaje:

Hmotnostní moment setrvačnosti je odečten z programu Pro Engineer.

- hmotnostní moment setrvačnosti (2 dveře) $I_2 = 28,6801$ kgm²
- hmotnostní moment setrvačnosti (1 dveře) $I_1 = 15,83$ kgm²
- úhel otočení $\varphi = 0,3491$ rad
- úhlové zrychlení $\alpha = 0,07758$ rad/s²
- čas pro otočení o úhel φ $t = 3$ s

Úhel otočení v radiánech

$$\varphi = \frac{\pi \cdot 20^\circ}{180^\circ} = 0,3491 \text{ rad} \quad (7.40)$$

Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{2 \cdot \varphi}{t} = \frac{2 \cdot 0,3491}{3} = 0,2327 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (7.41)$$

Úhlové zrychlení

$$\alpha = \frac{2 \cdot \varphi}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,3491}{3^2} = 0,07758 \text{ rad} / \text{s}^{-2} \quad (7.42)$$

Teoretická hodnota krouticího momentu

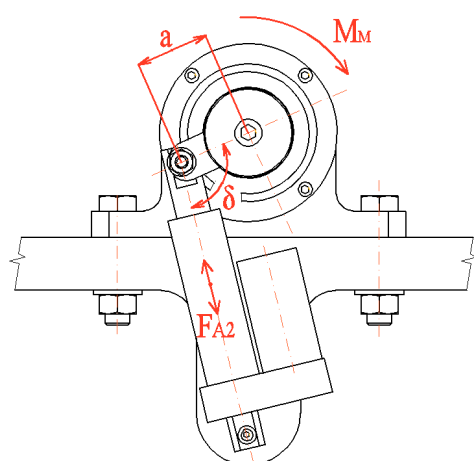
$$M_T = I_2 \cdot \alpha = 28,6801 \cdot 0,07758 = 2,25 \text{ Nm} \quad (7.43)$$

Hodnota teoretického krouticího momentu nepočítá s odpory, způsobenými vnitřním třením pohonu a s ním spojeným mechanismem. Potřebná hodnota krouticího momentu M_E se určí vynásobením teoretického momentu koeficientem k_M . V tomto případě se jedná o kývavý pohyb, kde se k překonání hmotnostního momentu setrvačnosti doporučuje použít koeficient $k = 5$. [11]

Potřebný krouticí moment:

$$M_M = M_T \cdot k_M = 2,25 \cdot 5 = 11,25 \text{ Nm} \quad (7.44)$$

Výpočet lineárního aktuátoru (obr. 34)



$$a = 42 \text{ mm}$$

$$M_M = 11,25 \text{ Nm}$$

Výchozí poloha efektoru 0° (obr. 62):

$$\delta_0 = 101,47^\circ$$

Max. poloha efektoru A $- 7^\circ$ (obr. 35):

$$\delta_1 = 108,92^\circ$$

Max. poloha efektoru B $+ 20^\circ$ (obr. 36):

$$\delta_2 = 88,3^\circ$$

Obr. 59

Síla aktuátoru ve výchozí poloze (δ_0):

$$F_{A2} = \frac{\frac{M_M}{a}}{\cos(\delta_0 - 90)} = \frac{\frac{11,25}{0,042}}{\cos(101,47 - 90)} = \underline{273,32N} \quad (7.45)$$

Síla v max. poloze efektoru A (δ_1):

$$F_{A2} = \frac{F_M}{\cos(\delta_1 - 90)} = \frac{267,9}{\cos(108,92 - 90)} = \underline{283,2N} \quad (7.46)$$

Síla v max. poloze efektoru B (δ_2):

$$F_{A2} = \frac{F_M}{\cos|\delta_2 - 90|} = \frac{267,9}{\cos|88,3 - 90|} = \underline{268N} \quad (7.47)$$

Velikost zdvihu aktuátoru:

$$\begin{aligned} \delta_2 \rightarrow \delta_1 &= 88,3^\circ \rightarrow 108,9^\circ \\ l &= 0 \rightarrow 14,5mm \end{aligned} \quad (7.48)$$

Statická síla při převozu jednoho kusu dveří:

$$F_S = \frac{\frac{m_{OM} \cdot g \cdot b}{a}}{\cos(\delta_1 - 90)} = \frac{\frac{490 \cdot 0,07}{0,042}}{\cos 18,92} = \underline{862,6N} \quad (7.49)$$

Síla při rozběhu s jedním kusem dveří:

$$M_M = I_1 \cdot \alpha \cdot k_M = 15,83 \cdot 0,07758 \cdot 5 = \underline{6,14Nm} \quad (7.50)$$

$$F_{A2} = \frac{\frac{M_M}{a}}{\cos(\delta_1 - 90)} = \frac{\frac{6,14}{0,042}}{\cos(108,92 - 90)} = \underline{154,5N} \quad (7.51)$$

Maximální požadovaná síla:

$$F_{\max} = F_S + F_{A2} = 862,6 + 154,5 = \underline{1017,1N} \quad (7.52)$$

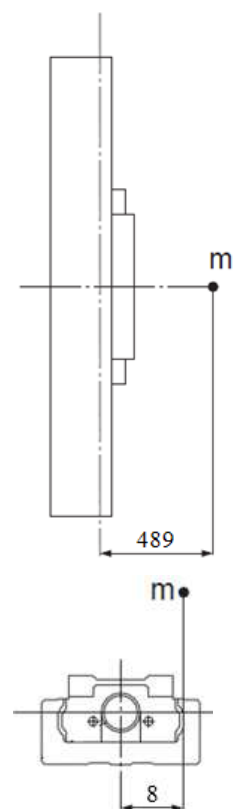
Zvolený lineární aktuátor HIWIN LAS3-1 (**obr. 34 – G**) určený k polohování efektoru v ose x, vyhovuje. Zdvih aktuátor je dle výpočtu zvolen 50mm.

8.4 Polohování efektoru v ose z

Posuv v ose z je vykonáván prostřednictvím lineární pohonné jednotky THK KR45H-A.

Kontrolní výpočet jednotky:

- Model KR45H – A
- Lineární vedení ($C=23\,300\text{ N}$, $C_0=39\,200\text{ N}$)
- Kuličkový šroub ($C_a=3\,140\text{ N}$, $C_{0a}=6\,760\text{ N}$)
- Průměr 15 mm
- Stoupání 10 mm
- Nosné ložisko ($C_a=6\,660\text{ N}$, $P_{0a}=3240\text{ N}$)
- Hmotnost $m = 59,7\text{ kg}$
- Zrychlení $\alpha = 2,4\text{ m/s}^2$
- Zdvih $l_s = 300\text{ mm}$
- Rychlost $v = 45\text{ mm/s}$
- Povolný moment $M_A = 486\text{ Nm}$
 $M_B = 486\text{ Nm}$
 $M_C = 925\text{ Nm}$



Obr. 60

Vyhodnocení jmenovité životnosti lineárního vedení

Užitečné zatížení vozíku:

Protože je použit jeden vozík, jsou momenty M_A a M_b při převodu na užitečné zatížení násobeny koeficientem ekvivalentního momentu ($K_A=K_B=9,83 \cdot 10^{-2}$). Totéž platí pro hřídel, působící moment M_C je při převodu násoben koeficientem ($K_C=3,45 \cdot 10^{-2}$) [22].

Během rovnoměrného pohybu

$$P_1 = m \cdot g + K_C \cdot m \cdot g \cdot 8 = 59,7 \cdot 9,82 + 3,45 \cdot 10^{-2} \cdot 59,7 \cdot 8 = \underline{603N} \quad (7.53)$$

Během zrychlení

$$P_{1a} = P_1 + K_A \cdot m \cdot \alpha \cdot 489 = 600 + 9,83 \cdot 10^{-2} \cdot 59,7 \cdot 2,4 \cdot 489 = \underline{6647N} \quad (7.54)$$

$$P_{1aT} = 1K_B \cdot m \cdot \alpha \cdot 8 = \underline{99N} \quad (7.55)$$

Během brzdění

$$P_{1d} = P_1 - K_A \cdot m \cdot \alpha \cdot 489 = \underline{588N} \quad (7.56)$$

$$P_{1dT} = K_B \cdot m \cdot \alpha \cdot 8 = \underline{99N} \quad (7.57)$$

Kombinované radiální a axiální zatížení

Během rovnoměrného pohybu

$$P_{1E} = P_1 = \underline{600N}$$

Během zrychlení

$$P_{1aE} = P_{1a} + P_{1dT} = 6746N \quad (7.58)$$

Během brzdění

$$P_{1dE} = P_{1d} + P_{1dT} = \underline{687N} \quad (7.59)$$

Statický bezpečnostní koeficient

$$f_s = \frac{C_0}{P_{\max}} = \frac{C_0}{P_{1aE}} = \frac{39200}{6746} = \underline{\underline{5,81}} \quad (7.60)$$

Jmenovitá životnost

Průměrné zatížení

$$P_m = \sqrt[3]{\frac{1}{l_s} (P_{1E}^3 \cdot 90 + P_{1aE}^3 \cdot 30 + P_{1dE}^3 \cdot 30)} = \underline{3949N} \quad (7.61)$$

Jmenovitá životnost

$$L = \left(\frac{C}{f_w \cdot P_m} \right)^3 \cdot 50 = \underline{\underline{5,943 \cdot 10^3 km}} \quad (7.62)$$

f_w - zátěžový koeficient pro střední rázy $f_w = 1,2$

Vyhodnocení jmenovité životnosti kuličkového šroubu

Axiální zatížení

Během rovnoměrného pohybu vpřed

$$F_{a1} = m \cdot g + f = 578N \quad (7.63)$$

f - valivý odpor vozíku KR (10 N)

Během dopředného zrychlení

$$F_{a2} = F_{a1} + m \cdot \alpha = \underline{722N} \quad (7.64)$$

Během dopředného brzdění

$$F_{a3} = F_{a1} - m \cdot \alpha = \underline{434,7N} \quad (7.65)$$

Během rovnoměrného pohybu zpět

$$F_{a4} = -F_{a1} = \underline{-578N} \quad (7.66)$$

Během zpětného zrychlení

$$F_{a5} = F_{a4} - m \cdot \alpha = \underline{-721N} \quad (7.67)$$

Během zpětného brzdění

$$F_{a6} = -F_{a4} + m \cdot \alpha = \underline{721N} \quad (7.68)$$

* F_{a3} , F_{a4} a F_{a5} jsou položeny rovny nule, protože zatížená drážka se liší od vyhodnocované drážky.

Statický bezpečnostní koeficient

$$f_s = \frac{C_{0a}}{F_{a\max}} = \frac{C_{0a}}{F_{a2}} = \frac{6760}{722} = \underline{9,36} \quad (7.69)$$

Zatížení na mezi vzpěrné pevnosti

$$P_1 = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_a^2} \cdot 0,5 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1198,4}{300^2} \cdot 0,5 = \underline{54,2 \cdot 10^3 N} \quad (7.70)$$

l_a - vzpěrná délka (300 mm)

E - Youngův modul ($2,06 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$)

n - koeficient instalace (pevná – pevná 4,0)

0,5 - koeficient bezpečnosti

L - min. geometrický moment setrvačnosti šroubového vřetena (mm^4)

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot d_1^4 \quad (7.71)$$

d_1 - průměr závitu šroubového vřetena (12,5 mm)

Jmenovitá životnost

Průměrné axiální zatížení

$$F_{am} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot l_s} (F_{a1}^3 \cdot 90 + F_{a2}^3 \cdot 30 + F_{a6}^3 \cdot 30)} = \underline{405N} \quad (7.72)$$

Jmenovitá životnost

$$L = \left(\frac{C_a}{f_w \cdot F_{am}} \right)^3 \cdot l = \underline{3,4 \cdot 10^4 km} \quad (7.73)$$

l - stoupání kuličkového šroubu

f_w - zátěžový koeficient

Vyhodnocení jmenovité životnosti nosného ložiska

Axiální zatížení (stejně jako u kuličkového šroubu)

Statický bezpečnostní koeficient

$$f_s = \frac{P_{0a}}{F_{a\max}} = \frac{P_{0a}}{F_{a2}} = \frac{3240}{722} = \underline{4,7} \quad (7.74)$$

Jmenovitá životnost

$$L = \left(\frac{C_a}{f_w \cdot F_{am}} \right)^3 \cdot 10^6 = \underline{1,6 \cdot 10^9 rev} \quad (7.75)$$

Výše uvedená životnost je převedena na dráhovou životnost kuličkového šroubu.

$$L_s = L \cdot l \cdot 10^{-6} = \underline{1,6 \cdot 10^4 km} \quad (7.76)$$

Výsledky

KR 45H A	Vozík	Kuličkový šroub	Nosné ložisko
Statický koeficient bezpečnosti	5,81	9,36	21,7
Jmenovitá životnost (km)	$5,9 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$

Výpočet krouticího momentu

$$M_K = \frac{F_{a2} \cdot Ph}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} + (J_M \cdot \omega) = \frac{722 \cdot 10}{2000 \cdot \pi \cdot 0,9} + (0,03 \cdot 10^{-3} \cdot 131) = \underline{1,28 Nm} \quad (7.77)$$

Požadované otáčky:

$$n = \frac{v \cdot 60 \cdot 10^3}{P_h} = \frac{0,041 \cdot 60 \cdot 10^3}{10} = 264 \text{ min}^{-1} \quad (7.78)$$

Výpočtem je potvrzena možnost využití daného aktuátoru THK KR45H-A. Pro pohon je zvolen krokový motor firmy microcon SX23-1020 (**obr. 39 – G**). Motor je propojen s lineární jednotkou THK pružnou spojkou Multi-Beam (**obr. 39 – H**).

8.5 Výpočet úchopné síly

Síla úchopu musí zabezpečit dveře proti vypadnutí při pohybu a polohování. Nejnepříznivější situace nastane při převozu dveří typu 1100/1970 o hmotnosti 50 kg přes dvevní otvor s úhlem natočení efektoru 20°, přičemž robot v dané chvíli začne zpomalovat.

Hodnoty:

- $m_{OM} = 50 \text{ kg}$
- $b = 75 \text{ mm}$
- $a = 435 \text{ mm}$
- $c = 40 \text{ mm}$
- zpomalení robotu $\alpha = 0,42 \text{ m/s}^2$

součinitel tření pryž – dřevo:

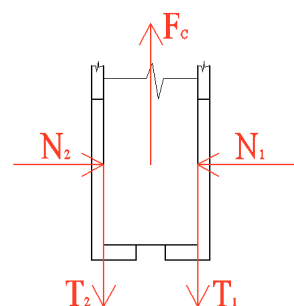
- $f = 0,8$

$$N_1 = N_2 = \frac{F_c}{2 \cdot f} \quad (7.79)$$

$$T_1 = T_2 = f \cdot N_1 = f \cdot N_2 \quad (7.80)$$

$$N_1 = N_2 = \frac{87,3}{2 \cdot 0,8} = 54,7 \text{ N}$$

$$T_1 = T_2 = 0,8 \cdot 54,7 = 43,76 \text{ N}$$



Obr. 61

Síla úchopu

$$U = N_1 + F_4 = 54,7 + 197 = 251,7 \text{ N} \quad (7.81)$$

$$U_{výp} = (N_1 + F_4) \cdot k_f = (54,7 + 197) \cdot 1,5 = 377,6 \text{ N} \quad (7.82)$$

k_f - koeficient bezpečnosti ($k_f = 1,5$)

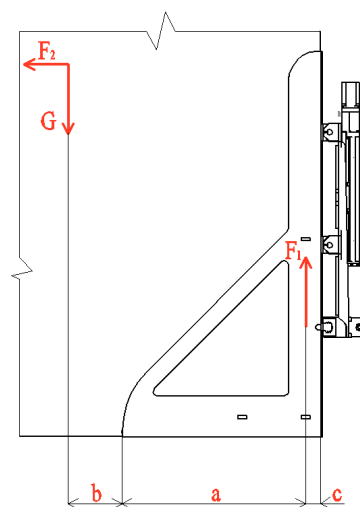
Síla vyvozená OM

$$G = m_{OM} \cdot g = 491 \text{ N} \quad (7.83)$$

$$\sum M = 0$$

$$G \cdot b = F_1 \cdot a \quad (7.84)$$

$$F_1 = \frac{G \cdot b}{a} = \frac{491 \cdot 0,075}{0,435} = 84,7 \text{ N}$$



Obr. 62

Síla vyvozená zpomalením:

$$\begin{aligned}F_2 &= m \cdot \alpha \\F_2 &= 50 \cdot 0,42 \\F_2 &= 21N\end{aligned}\tag{7.85}$$

Skalární součin vyvozených sil:

$$\begin{aligned}F_C &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \\F_C &= \sqrt{84,7^2 + 21^2} \\F_C &= \underline{87,3N}\end{aligned}\tag{7.86}$$

Síla vyvozená při polohování:

Při natočení efektoru o 20°, mají dveře tendenci rozevírat čelisti silou F_3 , působící v těžišti dveří.

$$F_3 = G \cdot \sin 20 = 168N\tag{7.87}$$

$$F_4 = \frac{F_3 \cdot (a + b + c)}{(a + c)} = \frac{168 \cdot (0,435 + 0,075 + 0,04)}{0,435 + 0,04} = \underline{197N}\tag{7.88}$$

Pro vypočtenou sílu úchopu byl zvolen modul firmy Schunk EGN 100, princip aplikace tohoto modulu v mobilním zařízení byl konzultována s technickým oddělením firmy Schunk.

Schunk EGN 100 (obr. 39 - D)

Parametry:

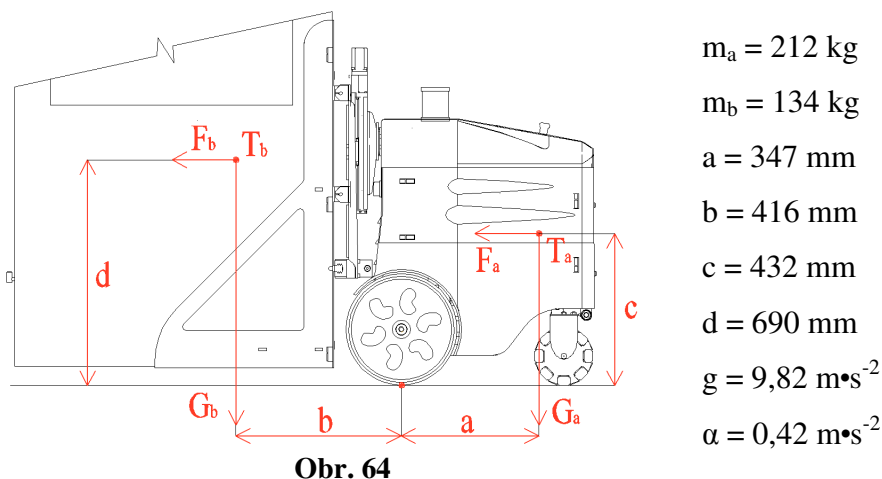
- Zdvih na čelist - 30mm
- Síla úchopu min./max. – 170/720 N
- Hmotnost – 1,35 kg
- Přesnost při opakování - 0,01 mm
- Rychlost max. – 80 mm/s
- Napájecí napětí – 24 V
- Proud – 2,3 A



Obr. 63

Vyvážení robotu

Robot bude brzdit (zpomalovat) předními koly, v tomto okamžiku může vlivem momentu setrvačnosti dojít k překlopení a možnému poškození dveří. Proto je zapotřebí tuto situaci ověřit. Robot je rozdělen na dvě části (obr. 71) s vykreslením jednotlivých hodnot, bod překlopení je brán na střed předního kola.



Obr. 64

$$\sum M = M_{1A} - M_{2A} - M_{1B} - M_{2B} \geq 0 \quad (7.89)$$

$$G_a \cdot a - F_a \cdot c - G_b \cdot b - F_b \cdot d \geq 0 \quad (7.90)$$

$$2081,8 \cdot 0,347 - 212 \cdot 0,42 \cdot 0,432 - 1313 \cdot 0,416 - 134 \cdot 0,42 \cdot 0,69 \geq 0$$

$$722,4 - 38,5 - 546,2 - 38,8 \geq 0$$

$$98,5 \geq 0$$

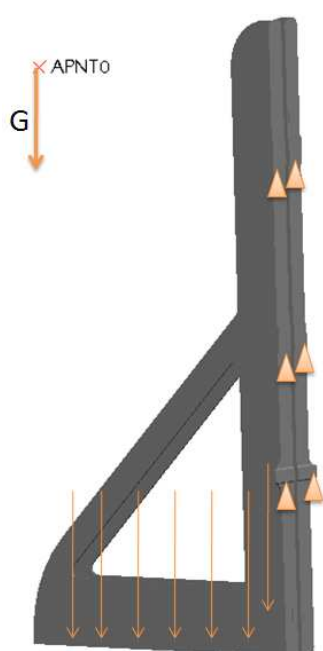
Z výsledku je patrné, že se robot nepřeklopí při daných hodnotách, kdy převáží dveře s největšími rozměry a hmotností. Zpětným dosazením do (7.90) je zjevná možnost zvýšení hmotnosti m_b při zachování těžiště T_b o 36 kg, nebo zvýšení hodnoty zpomalení (brzdění) na $0,96 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

8.6 Návrh a kontrola základních konstrukčních uzlů

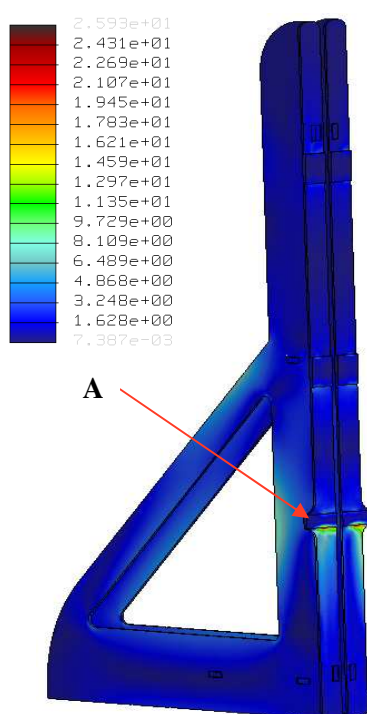
Tato část obsahuje pevnostní analýzy základních součástí v programu Pro Engineer. Výsledky výpočtů součástí, u kterých byl použit program Mitcalc, jsou pro jejich rozsáhlý grafický výstup přesunuty do příloh G – I. Jedná se o pár ložisek s kosoúhlým stykem, osu všesměrových kol a návrh těsného pera na ose efektoru.

Čelisti efektoru

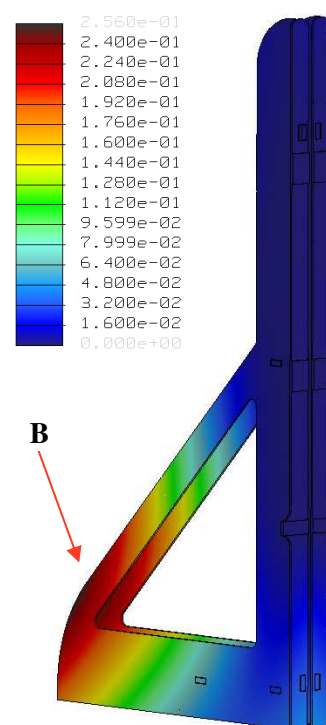
Hmotnost dveří je na čelisti efektoru vedena přes bod simulující těžiště dveří. Síla je přivedena na stykové plochy dveří a čelistí. Vazba (constraint) je umístěna na plošný region v místě styku s lineárním vedením a modulem Schunk.



Obr. 65 - Schéma



Obr. 66 – Namáhání

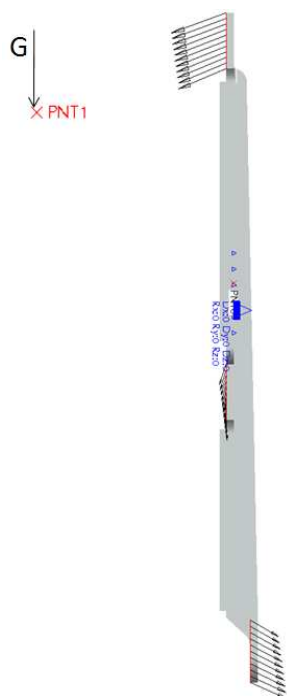


Obr. 67 - Průhyb

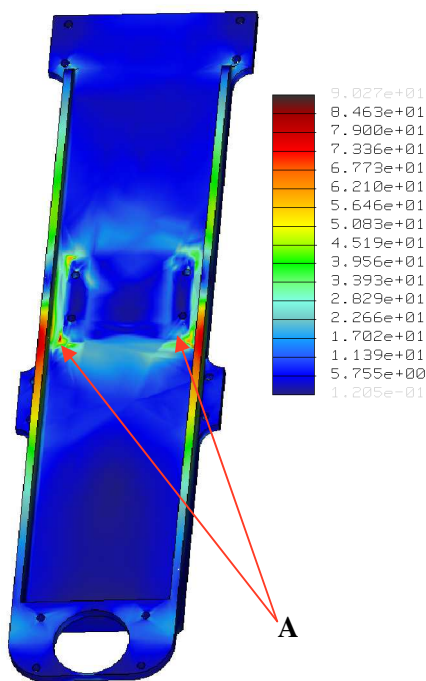
Výsledky (**obr. 66 a 67**) znázorňují maximální namáhání koncentrované v místě (A), to je způsobené zejména ostrou hranou v oblasti namáhání (při pokusech simulovat svár docházelo v průběhu analýzy k chybě). Maximální hodnota namáhání v místě (A) činí 26 MP. Průhyb (**Obr. 67**) dosahuje v místě (B) hodnoty 0,26 mm.

Základna efektoru

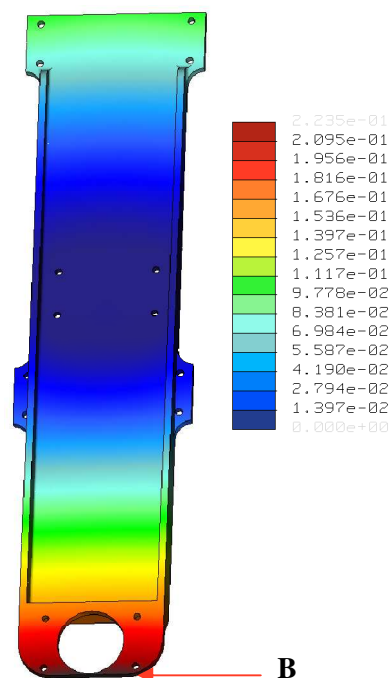
Podobně jako u předchozí analýzy je zde vedena síla skrze bod simulující těžiště sestavy komponentů. Síla (604,8 N) je vedena na plošné regiony symbolizující lineární vedení a jednotku Schunk, vazba je umístěna na plošný region v místě upevnění na jednotku THK. Nejvyšší hodnota namáhání je v místě (A) uchycení lineární jednotky THK a dosahuje hodnoty 90,3 MP, maximální průhyb (B) činí 0,25 mm.



Obr. 68 - Schéma



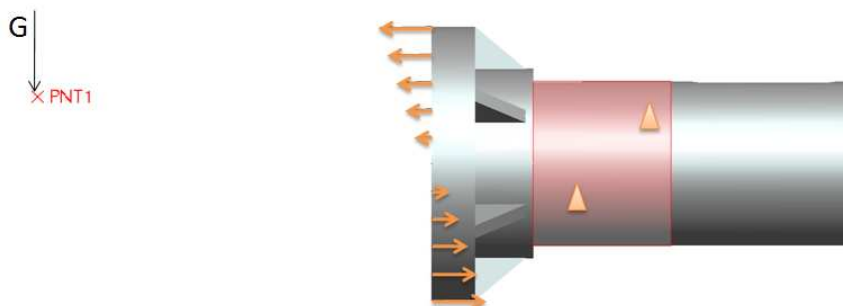
Obr. 69 – Namáhání



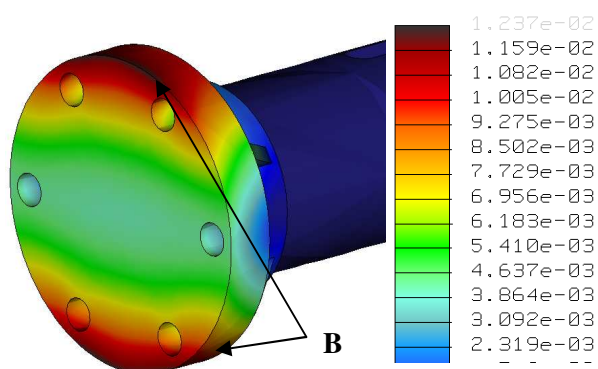
Obr. 70 - Průhyb

Osa

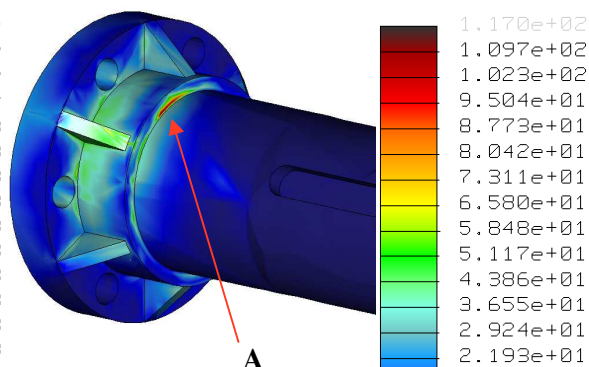
Na osu umožňující polohování efektoru je přivedeno zatížení od prvků na ní upevněných skrze bod simulující těžiště. Vazba je umístěná na plošný region umístěný v místě styku osy a ložisek. Těžiště je ve vzdálenosti 402mm, $G=1310\text{N}$ Maximální zatížení (A) je v požadovaném osazení zvolených ložisek, jeho hodnota je 117 MP. Maximální průhyb (B) je v předpokládaném místě s hodnotou 0,012 mm.



Obr. 71 - Schéma



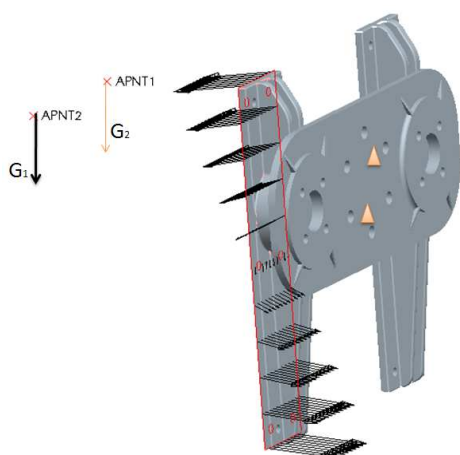
Obr. 72 – Průhyb



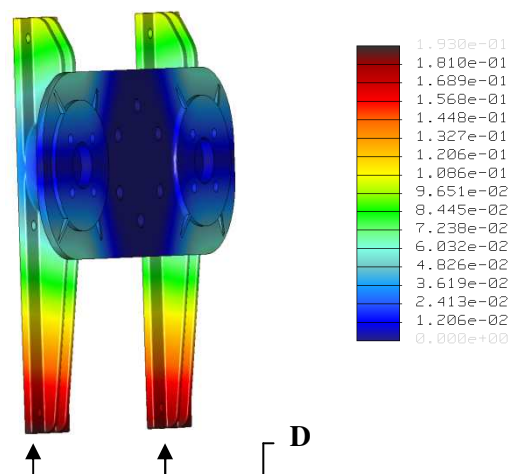
Obr. 73 - Namáhání

Úchyt THK

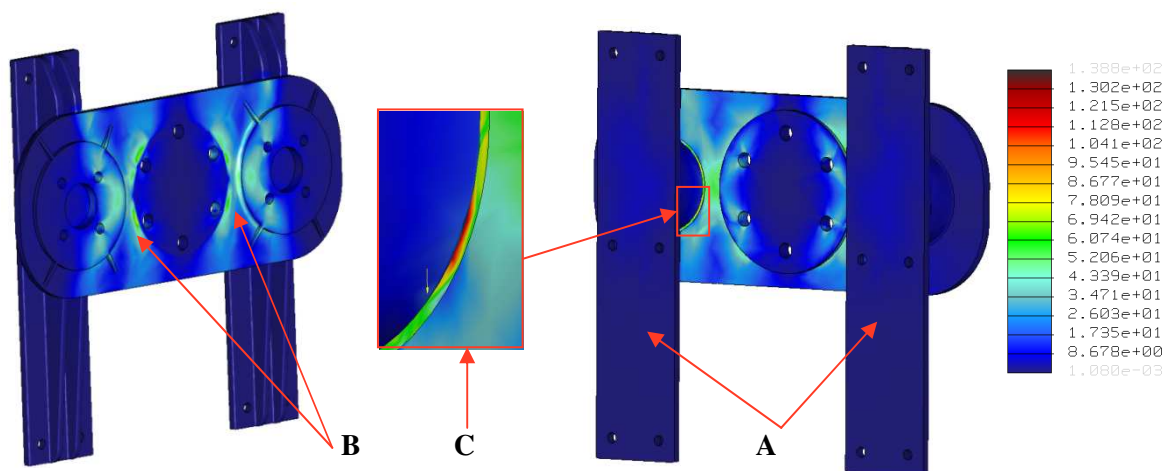
Tento prvek je analyzován jako sestava tří součástí, kde je na plochu (A) přivedeno zatížení od OM a všech dílů efektoru, na **obr. 74** je z důvodu přehlednosti zobrazeno pouze zatížení na jednu část úchytu. Bod symbolizující těžiště je ve vzdálenosti 363 mm od plochy A, síla působící v těžišti je $G_1=G_2=639,2$ N.



Obr. 74 - Schéma



Obr. 75 – Průhyb

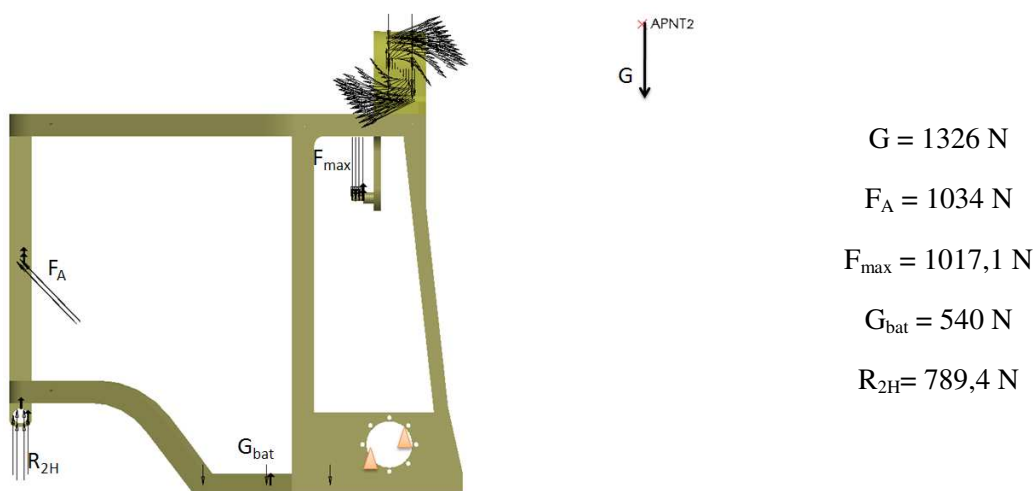


Obr. 76 - Namáhání

Maximální namáhání (obr. 76) se koncentruje v místě (C), jehož hodnota dosahuje 139 MP. V místě upevnění na osu natočení (B) se namáhání pohybuje v hodnotách 69–78 MP. Průhyb nosných částí úchytu, na nichž jsou upevněny jednotky THK, činí 0,2 mm (D).

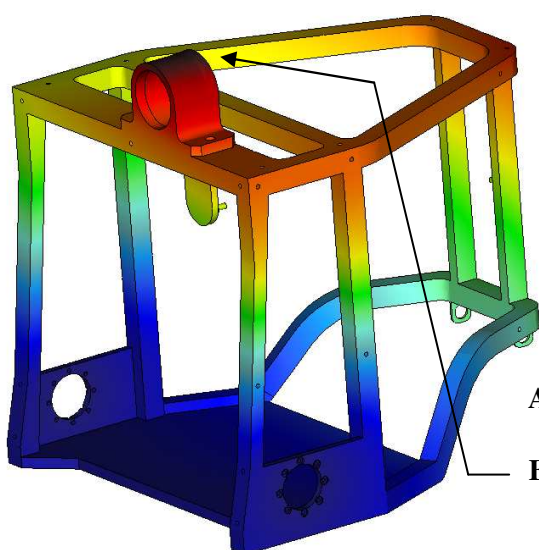
Rám

Rám byl analyzován v několika etapách, důvodem bylo překrývání výsledků jednotlivých sekcí. Do analýzy bylo zahrnuto namáhání ložiskového domku efektoru, osy aktuátorů, které jsou součástí rámu, úchyty osy všesměrových kol a zatížení bateriemi.

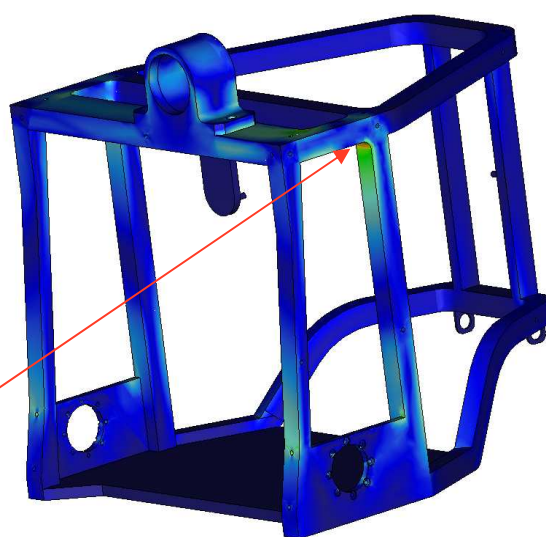


Obr. 77 - Schéma

V první části je zatížení přivedeno na plošný region simulující ložiska v ložiskovém domku, těžiště efektoru je ve vzdálenosti 435 mm od středu ložisek. Maximální hodnota napětí v místě (A) dosáhla 42,5 MP a průhyb v místě (B) hodnoty 0,18 mm

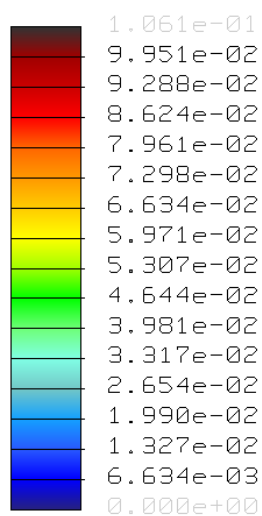
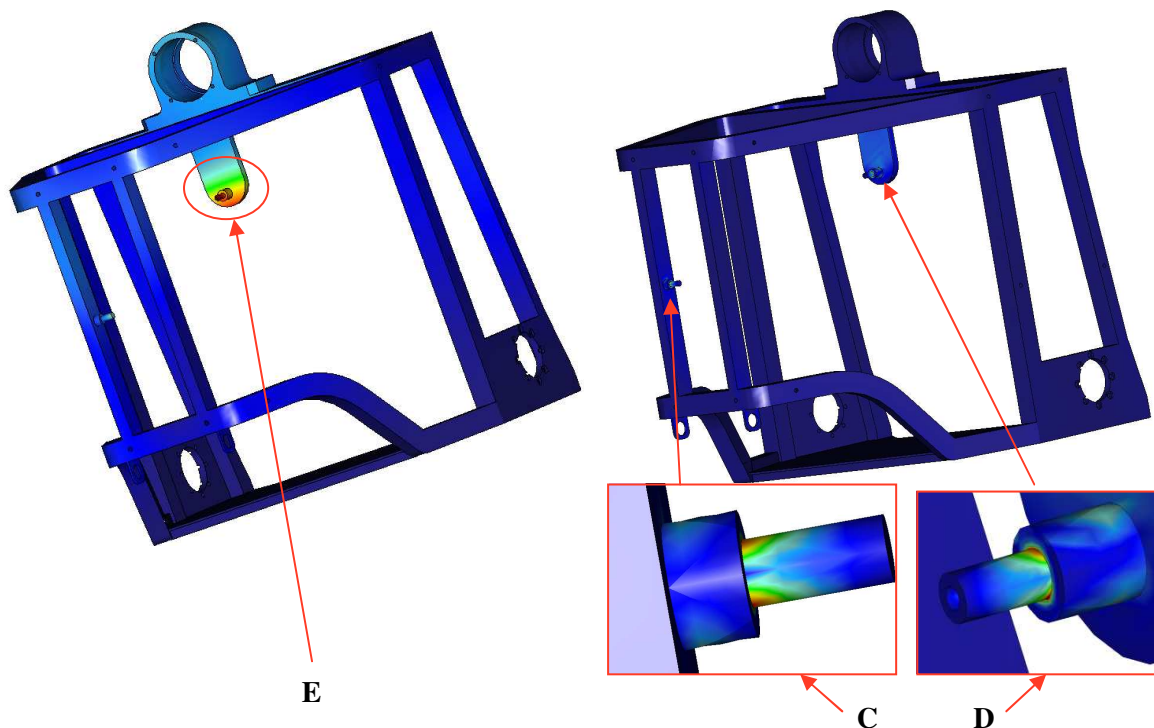


Obr. 78 – Průhyb

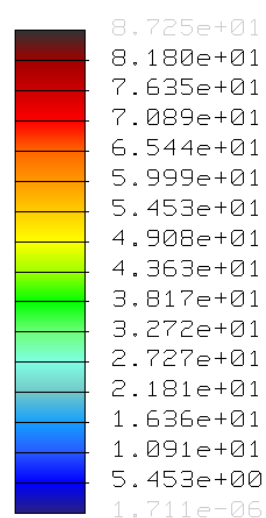


Obr. 79 Namáhání

Druhá část obsahuje zatížení od aktuátorů a osy všesměrových kol. Kde maximální namáhání dosáhlo hodnoty 87,3 MP v oblasti osazení (C a D). Průhyb dosáhl hodnoty 0,1 mm v místě (E). Zatížení rámu bateriemi je zanedbatelné.



Obr. 80 - Průhyb



Obr. 81 - Namáhání

9. Servisní požadavky

9.1 Údržba

Robot nevyžaduje speciální údržbu, nicméně je vhodné sestavit plán údržby závislý na počtu provozních hodin a intervalech kontroly jednotlivých komponentů doporučených výrobcem. Ložiska jsou volená jako bezúdržbová, a proto zde odpadá nutnost mazání. Jedinou činností probíhající v krátkých časových intervalech je očištění IR senzorů umístěných na skeletu robotu, které jsou přímo vystaveny prашnému prostředí. Možné znečištění může ovlivnit správný chod celého robotu, proto je vhodná častější kontrola během provozu.

9.2 Přeprava

V návrhu robotu je uvážena nutnost přepravy na místo výstavby, dispozičně není problém zařízení převážet dodávkou. V případě, že vozidlo není opatřeno nájezdovou rampou, obsluha může k vyložení nebo naložení využít paletovací vozík, vysokozdvizný vozík nebo nakladač s patřičným příslušenstvím (**obr. 82**). K této manipulaci jsou rozměrově uzpůsobená všesměrová kola – při zasouvání vozíku je mezi vozíkem a koly dostatečná vůle. Přepravy robotu na vozíku se může využít i při úplném vybití baterií nebo z důvodu poruchy.



Obr. 82

10. Závěr

Přínosem nově navrženého zařízení je odstranění těžké monotónní práce při osazování dveří a manipulaci s nimi. Zařízení má smysl uplatnit při výstavbě nebo rekonstrukci budov, kde je zhruba 500 dveří a více. Proto byly analyzovány společné rysy budov předepsané normou, ve kterých se osazuje tento počet dveří. Tímto byly získány základní rozměrové a hmotnostní parametry objektu manipulace a maximální přípustné hodnoty zařízení, ze kterých se postupně utvářel požadavkový list.

Dle zadání byla provedena analýza současného stavu zařízení určených k osazování interiérových dveří, ze kterých byla vybrána trojice zástupců. Tato trojice byla podrobena analýze v programu TechOptimizer 3.0 (TO). Při sestavování funkčních modelů byly zohledněny nadbytečné funkce a nedostatky vyplývající z určení výrobků pro trh USA. Konzultace s prodejcem daných zařízení poukázaly na nedostatky v reálném provozu. Po analýze zařízení TO vygeneroval technickou zprávu hodnotící danou variantu s doporučením na zlepšení. Protože TO nabídnul k řešení daných problémů jen omezený počet možností, byla využita sekvence „hledání znalostí“ programu Goldfire Innovator (GFI), která po správné formulaci dotazů poskytla dostatečný počet řešení s odkazem na realizované principy použití. V průběhu práce byly identifikovány dílčí funkce analyzovaných zařízení, ze kterých byla sestavena funkční struktura nového zařízení. Tato struktura byla následně přenesena do morfologické matice spolu s komponenty analyzovaných zařízení a nově nalezenými principy a efekty. Metodou morfologické matice byly vybrány prvky orgánové struktury jako alternativa mezi technicky nadějným a ekonomicky efektivním řešením. Na základě dosažených poznatků bylo vytvořeno nové konstrukční řešení, které bylo podrobeno kritériálnímu hodnocení a srovnáno s analyzovanými vozíky a ručním osazováním dveří. Výsledkem srovnání byl patrný přínos zařízení, kde jsou vyšší pořizovací náklady kompenzovány produktivitou a odstraněním fyzicky náročné práce obsluhy při osazování dveří. Následně byla navržená struktura analyzovaná v programu TO, zejména k identifikaci slabých nebo nadbytečných komponentů. Hlavní nedostatky byly odhaleny u prvků, které by bylo velmi obtížné odstranit nebo jejich funkci přenést na jiné, aniž by náklady nepřesáhly původní hodnotu, proto zůstaly tyto prvky zachovány. V návrhu konstrukce jsou aplikována doporučení k přesunům funkcí a využití alternativních komponentů navržených programy TO a GFI, příkladem může být přesun polohování OM na zadní „nápravu“ s využitím všesměrových kol. Při výběru typu řízení celého robotu hrál velký význam rozměrový charakter budov, z možných řešení bylo vybráno diferenciální řízení, jako další možnost bylo navrženo

řízení pomocí omni-ball. Toto řešení je ovšem v porovnání s diferenciálním řízením velmi nákladné a složité.

Možnosti polohování OM vycházejí z tolerancí při osazování zárubně a nutnosti průjezdu dveřním otvorem. Konstrukce je navržena k manipulaci s dvojicí dveří, čímž se zvýšila produktivita a zmenšily prodlevy při opakované jízdě k zásobníku pro další dveře.

Robot se v prostoru budovy orientuje pomocí senzorů a rádiových majáků, ze kterých získá potřebné informace, podle kterých zvolí další postup.

Účast obsluhy se tedy minimalizovala na dopravu robotu na pracoviště, následné nastavení typu osazovaných dveří, umístění majáků a postupnou obměnu zásobníků, čímž se odstranila veškerá fyzicky náročná činnost, obsluha může navíc provádět kontrolu dveří nebo dodatečnou montáž kování, tím se výrazně zvýší produktivita při snížení počtu zaměstnanců. Přibližné snížení ceny je 1220 Kč pro osm kusů osazených dveří s dopravou, zde je také nutno přihlídnout na odstranění problémů a ušlého zisku ve chvíli, kdy je zaměstnanec na nemocenské a nemůže vykonávat svou činnost.

Součástí technické zprávy je výpočtová část, obsahující návrh pohonů, výpočet potřebných sil a zdvihů aktuátorů, úchopové síly efektoru, kontrolní výpočet jednotky THK s návrhem pohonu, vyvážení robotu a kontrolu ložisek. Výpočtová část dále obsahuje výpočty a analýzy navržených součástí realizované v programech Pro Enginner a Mitcalc.

Práci lze určitě dále rozšířit o podrobný návrh řízení a komunikace robotu s majáky, základní prvky těchto systémů jsou v práci zvoleny, ale je nutno ověřit jejich správnou funkci v reálném provozu. Stejná situace nastává u senzorického systému, kde je nutné ověřit jejich funkci na rozdílných typech a barvách povrchů, tak aby robot dostával co nejpřesnější informace o okolním prostředí.

Parametry robotu	
Hmotnost	246 kg
Nosnost	100 kg
Rychlost	4,5 km/h
Rozměry (d x š x v)	1100 x 700 x 1127 mm
Napájecí napětí (akční členy / ŘS)	36 V / 24 V
Příkon (akční členy / ŘS)	957,6 W / 182,25 W
Provozní schopnost	7 hod 40 min
Nabíjení akumulátorů (akční členy / ŘS)	6,7 / 4,3 hod (230 V)

11. Seznam použité literatury

11.1 Knihy, příspěvky ve sborníku

- [1] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU, Ostrava: 2004, 144 s.
ISBN 80-248-0626-6.
- [2] LEINVEBER, J.; ŘASA, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. Vydání. Praha: Scientia – Pedagogické nakladatelství, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [3] Hosnedl, S., Krátký, J., *Příručka strojního inženýra*. 1. Vydání, Brno: Computer Press, 1999. 313 s. ISBN 80-7226-055-3
- [4] Havlík, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. 1. Vydání, Ostrava VŠB-TU Ostrava, 2007, 99 s. Skriptum
- [5] NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [6] SCHRAFT, R., D. – SCHMIERER, G. *Serviceroboter: Produkte, Szenarien, Visionen*. Springer Verlag, Berlin, New York, ect., 1998.
- [7] SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání, Košice: Viena Košice, 2002. 190 s.
ISBN 80-88922-55-0
- [8] SKAŘUPA, J. *Metodika konstruování*. 1. Vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1993. 158 s. ISBN 80-7078-167-X.
- [9] SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0.
- [10] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vydání. Brno: František Vlk, 2003. 432 s. ISBN 80-239-0024-2
- [11] Zelený, J. *Stavba strojů strojní součástí*. 1. Vydání, Brno. Computer Press, 2000. 151 s. ISBN 80-7226-311-0

11.2 Legislativa

- [12] ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.
- [13] ČSN 73 0202 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1995. 12 s.
- [14] ČSN 73 2611 *Úchylky rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 1981. 64 s.
- [15] ČSN 74 6401 *Dřevěné dveře*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 24 s.

- [16] Vyhláška MMR č. 268/2009 Sb., *o obecných technických požadavcích na stavby*. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009. 246 s.

11.3 Seznam internetových zdrojů

Veškeré internetové zdroje jsou zkontrolovány a aktuální ke dni 6. 5. 2011

- [17] <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-268-2009-sb-o-technickych-pozadavcich-na-stavby>
- [18] http://www.masonite.com/pdf/installation/Interior_Prehung_Doors.pdf
- [19] http://www.masonite.com/pdf/installation/Patio_Door_Install.pdf
- [20] http://www.schunk.com/index_select_your_country2.html?r=1
- [21] http://www.tesort.cz/zdvihac_alfa.html
- [22] http://www.tesort.cz/uchopovaci_pripavky.html
- [23] <http://www.gizmowatch.com/entry/tufan-dyson-service-robot-sighs-emphatically-if-it-s-working-too-much/>
- [24] <http://www.uplifter.cz/produkty/glaslift/glaslift-250-d>
- [25] <http://www.hardnoxllc.com/>
- [26] <http://www.unipetrol.cz/cs/nabidka-produktu/petrochemicke-produkty/polyolefiny/product-pp.jsp>
- [27] http://www.contractorstools.com/telpro_doorminator.html
- [28] <http://www.toolfetch.com/door-jacks-40100.shtml>
- [29] <http://commercial.kmate.com.au/index.php?act=viewProd&productId=261>
- [30] <http://www.ebuild.com/articles//1427835.hwx>
- [31] <http://www.ggrglass.co.uk/product.php?DepartmentID=37>
- [32] <http://www.sgcardetail.com/Innovative-Door-Jack-Prodview.html>
- [33] <http://www.montagebau-bley.de/glassauger.html>
- [34] <http://www.poulsenstillads.dk/?pid=29>
- [35] <http://fr.hh-intellitech.dk/>
- [36] http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1_1_0
- [37] <http://igus.com/default.asp>
- [38] <http://www.thk.com/cz/index.html>
- [39] <http://www.tgdrives.cz/>
- [40] http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33556

- [41] http://www.pantek.cz/pdf/produkty/hw/specifikace_box.pdf
- [42] http://www.pantek.cz/produkty.php?id_produktu=29&produkt=wonderware-hardware&id_podkategorie=244&podkategorie=flat-panel-monitor
- [43] <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/narizeni-vlady-c-361-2007-sb-kterym-se-stanovi-podminky-ochrany-zdravi-pri-praci>
- [44] <http://www.mulac.cz/101-300w/menic-napeti-dc-dc-36-72v-dc-na-24v-200w-8-4a-sd-200c-24.htm>
- [45] <http://www.wmocean.cz/ptm-230-vysilac>
- [46] <http://www.robotshop.com/ca/hokuyo-urg-04lx-laser-rangefinder-2.html/>
- [47] <http://shop.snailinstruments.com/>
- [48] http://www.electricmotorsport.com/store/ems_ev_parts_batteries_lpf_gbs_kit36.php
- [49] [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/podpora_projektu_nno_2011/\\$FILE/onpzp-5_Kriteria_hodnoceni_2011-20100813.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/podpora_projektu_nno_2011/$FILE/onpzp-5_Kriteria_hodnoceni_2011-20100813.pdf)
- [50] http://www.kolmanl.info/index.php?show=AKU_LIPOL
- [51] <http://inovace.navajo.cz/>
- [52] <http://www.microcon.cz/>
- [53] <http://www.harmonicdrive.net/products/servo-drives/ddp/>
- [54] <http://www.hiwin.cz/>
- [55] <http://www.rotacaster.com.au/process/shop/productView.html?itemId=11520>
- [56] <http://www.montako.cz/kategorie/serie-lnr--kola-transportni.aspx>
- [57] [http://en.wikipedia.org/wiki/Orders_of_magnitude_\(speed\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Orders_of_magnitude_(speed))

11.4 Seznam zdrojů u použitých obrázků

- Obr. 5** <http://www.hardnoxllc.com/>
- Obr. 6** <http://en.hh-intellitech.dk/>
- Obr. 7** http://www.contractorstools.com/telpro_doorminator.html
- Obr. 8** <http://www.contractors-solutions.net/Door-Jack-50-P748.aspx>
- Obr. 9** <http://www.uplifter.de/produkte/glastransportwagen/upg-door-jack>
- Obr. 20** <http://www.autodily-tomes.cz/index.php?skupina=260>
- Obr. 26** <http://www.tgdrives.cz/servomotory/servomotory-rady-tgn/>
- Obr. 27** <http://www.tgdrives.cz/prevodovky-a-linearni-jednotky/planetove-prevodovky/>

- Obr. 30** <http://www.hiwin.cz/>
- Obr. 31** <http://www.rotacaster.com.au/process/shop/productView.html?itemId=11520>
- Obr. 32** <http://www.igus.cz/default.asp?PAGE=IGLIDUR>
- Obr. 37** <http://www.hiwin.cz/>
- Obr. 38** http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=en&newlink=1_1_0
- Obr. 43** <http://www.thk.com/cz/products/class/lmguideact/index.html>
- Obr. 44** https://tech.thk.com/en/products/thk_cat_main.php?id=431
- Obr. 45** <http://www.microcon.cz/>
- Obr. 46** http://www.schunk.com/index_select_your_country2.html?r=1
- Obr. 48** <http://www.microcon.cz/>
- Obr. 50** http://www.electricmotorsport.com/store/ems_ev_parts_batteries_lpf_gbs_kit36.php
- Obr. 53** http://www.pantek.cz/produkty.php?id_produktu=29&produkt=wonderware-hardware&id_podkategorie=244&podkategorie=flat-panel-monitor
- Obr. 58** <http://www.igus.cz/default.asp?PAGE=IGLIDUR>
- Obr. 60** <http://www.thk.com/cz/products/class/lmguideact/index.html>
- Obr. 63** http://www.schunk.com/index_select_your_country2.html?r=1

12 Seznam příloh

Příloha A – Rozdělení dveří

Příloha B – Geometrické odchylky

Příloha C – Typy dveřních závěsů

Příloha D – Konkurence schopná varianta

Příloha E – Příslušenství

Příloha F – Spotřeba energie

Příloha G – Výpočet ložisek s kosoúhlým stykem

Příloha H – Výpočet osy všesměrových kol

Příloha I – Výpočet těsného pera

Příloha J – Cenová rozvaha

Příloha K – Diferenciální řízení a všesměrová kola

Příloha L – Omni - Ball

Výkresy

Sestavný výkres robotu KOP 257 - DP

Přiložené CD

Sestavný výkres robotu (AutoCAD 2002,2010) KOP 257 – DP

Funkční model robotu (TechOptimizer 3.0)

Konstrukční model robotu (Pro/Engineer W2)

Diplomová práce ve formátu MSWORD (Word 2007)

Zadání diplomové práce (formát PDF)

Záznam o závěrečné práci na katedře robototechniky (Word 2007)

Přílohy

Příloha A – Rozdělení dveří

Podle umístění:

- vnější dveře: vchodové, plotové, portály, vrata,
- vnitřní dveře: vstupní do bytu, mezi místnostmi, výtahové a jiné.

Podle způsobu otvírání:

- otočné,
- posuvné ve vodorovném a svislém směru,
- kyvné,
- turniketové,
- teleskopické,
- roletové.

Podle počtu křídel:

- dvoukřídlové,
- vícekřídlové,
- jednokřídlové.

Podle způsobu ovládání:

- ruční,
- mechanické,
- automatické.

Podle řazení křídel ve směru kolmém na dveřní křídlo:

- jednoduché,
- zdvojené,
- dvojité.

Podle použitého materiálu:

- dřevěné, nebo na bázi dřeva,
- kovové (ocelové, ze slitin hliníku, mosazné, nerezové),
- z plastických hmot celoprosklené,
- kombinované z různých materiálů, např. ocelohliníkové, celoplastové apod.

Podle konstrukce křídel:

- rámové: dřevěné rámové s lehčenou výplní nebo zasklením, dřevěné hladké, ocelové z válcovaných materiálů atd.,
- deskové: celoprosklené, sbíjené, svlakové.

Podle druhu konstrukce zárubně rozlišujeme dveře se zárubní:

- rámovou,
- stolařskou obloženou,
- skládanou,
- tesařskou a tesařskou obloženou,
- z plastických hmot,
- kovovou,
- kovovou skládanou,
- z různé kombinace materiálů.

Podle polohy závěsů rozeznáváme dveře:

- pravé (závěsy otočného křídla se při pohledu ze strany závěsů nacházejí na pravé straně; dveře jsou opatřeny pravými závěsy a pravým zámkem,
 - levé (závěsy otočného křídla se při pohledu ze strany závěsů nacházejí na levé straně)
- Dvoukřídlové dveře se určují za stejných podmínek podle trvale otvíraného dveřního křídla.

Podle technologie osazení dveří:

- zárubeň se osazuje v rámci hrubé stavby, dveřní křídlo v rámci dokončovaných prací,
- osazení zárubně a dveřního křídla v rámci dokončovacích prací (skládané zárubně),
- osazení pomocí osazovacího rámu, který se osadí v rámci hrubé stavby, po dokončení povrchových úprav se osadí zárubeň dveří s dveřním křídlem.

Podle stupně dokončení:

- dveře nekompletované, tj. se základním ochranným nátěrem, konstrukčním kováním a bez výplně, jedná-li se o dveře se zasklením,
 - kompletované, tj. s konečnou povrchovou úpravou, kováním a popř. se zasklením.
- Osazují se zpravidla do ocelového rámu.

Příloha B – Geometrické odchylky

Požadavky geometrické přesnosti

Základním předpisem geometrické přesnosti je v současné době ČSN 73 0202 GEOMETRICKÁ PŘESNOST VE VÝSTAVBĚ, který stanovuje základní charakteristiky přesnosti a základní požadavky pro navrhování, zajišťování, kontrolu a hodnocení geometrických parametrů, které bezprostředně ovlivňují plnění funkčních požadavků na stavební objekty a jejich části po dobu jejich životnosti. Pro mezní úchyly světlostí, rozměrů, dveří, tvarů zárubní a otvorů v ocelové konstrukci platí ČSN 73 2611 ÚCHYLKY ROZMĚRŮ A TVARŮ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ. Dosedání křídla na

zárubeň musí být těsné, po uzavření křídla nemá být spára větší než 1 mm. Rozměry, které určují rozmístění osazovacích závěsů na zárubni a na dveřním křídle, je nutné dodržet s přesností 1 mm. Dveřní křídla je možné osazovat jen do typových ocelových nebo obložkových zárubní v povolené toleranci dle ČSN:

- odklon od svislé osy max. 1 mm,
- odklon od vodorovné osy 1 mm,
- úhlopříčná odchylka max. 1 mm,
- výška a šířka křídla se odměří podél jeho okrajů ve vzdálenosti max. 20 mm od okrajů,
- tloušťka křídla se měří v šesti bodech umístěných ve středu šířky a v každé třetině výšky ve vzdálenosti max. 20 mm od okraje křídla,

pravoúhlost se měří u každého rohu dveřního křídla, odchylkou od pravoúhlosti je velikost spáry mezi křídlem a úhelníkem, při úhlu nad 90° se měří odchylka ve vrcholu úhlu.

V návaznosti na tuto normu ČSN 74 6401 pro dřevěné dveře požaduje:

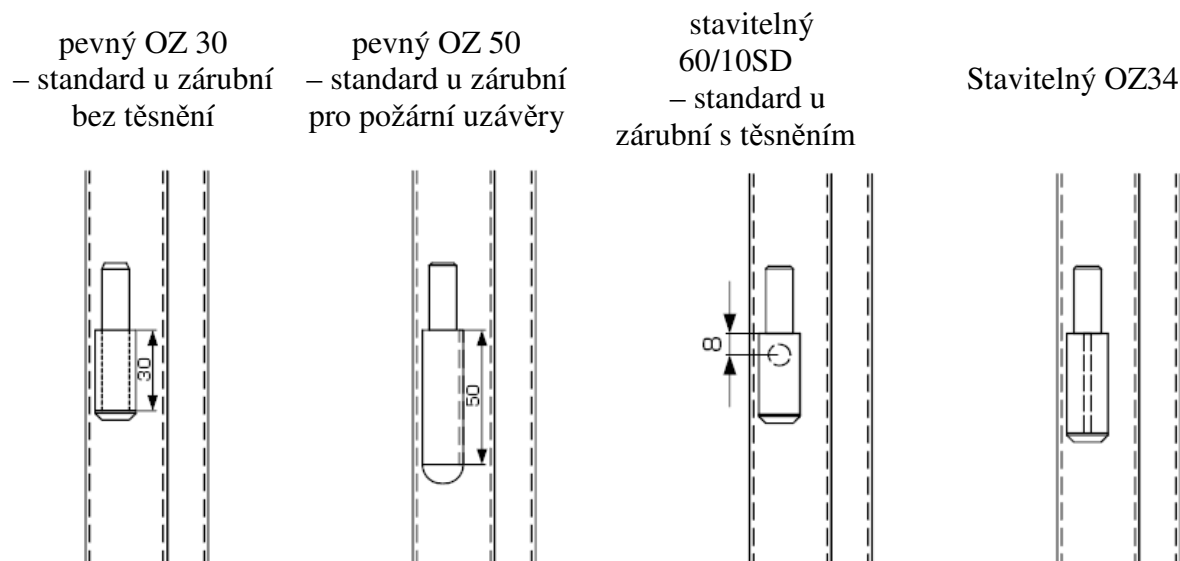
- Dovolené odchylky dveřních křídel:
- tloušťka ± 1.00 mm,
 - šířka ± 2.00 mm,
 - výška ± 2.50 mm.

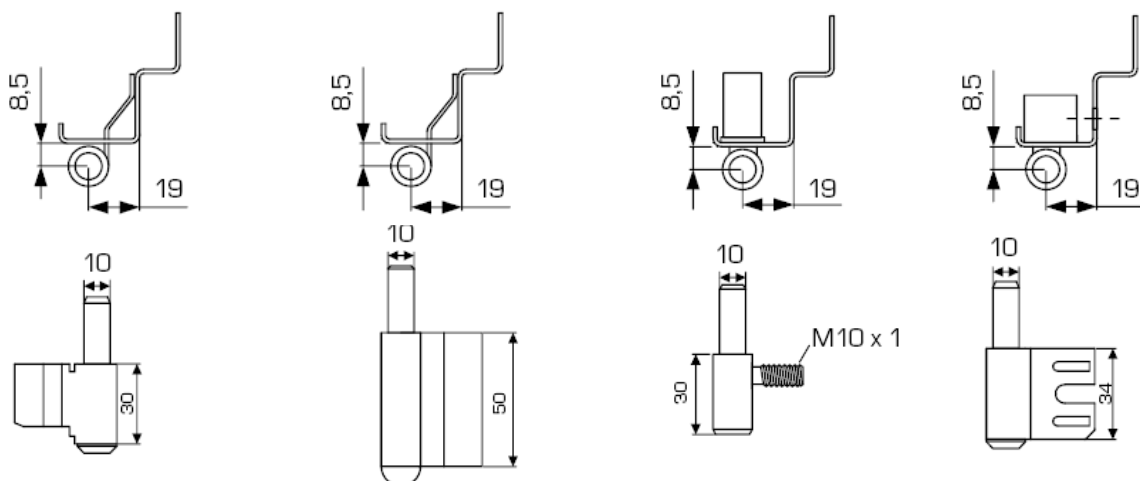
Odchylka od pravoúhlosti nesmí být větší než:

- 1 mm u dveřních křídel 600 a 700 mm širokých,
- 2 mm u dveřních křídel 800 a 1100 mm širokých.

Příloha C – Typy dveřních závěsů

Detail A – varianty používaných spodních dílů dveřních závěsů^[15] (viz str. 19)





Únosnost 3 závěsů
50 kg

Únosnost 3 závěsů
70 kg

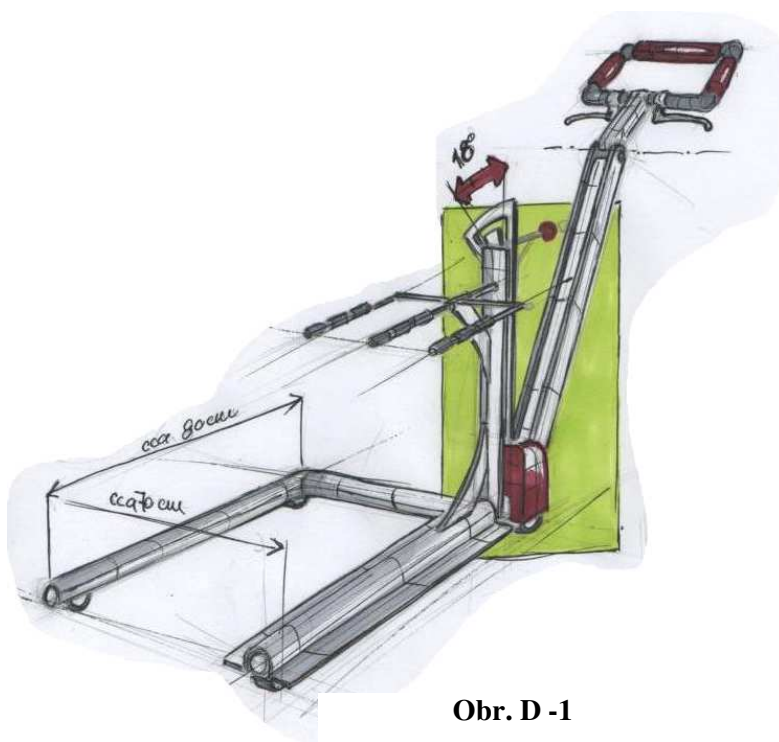
Únosnost 3 závěsů
50 kg

Únosnost 3 závěsů
50 kg

V případě požadavku na osazení zárubně dveřmi s hmotností vyšší než je uvedená únosnost nebo s rozměry nad 2000x1000 mm lze zvýšit únosnost přidáním 4. závěsu cca o 30 %. Pokud to není dostačující, pak je nutno použít konstrukčně jiný typ závěsů.

Příloha D – Konkurenceschopná varianta

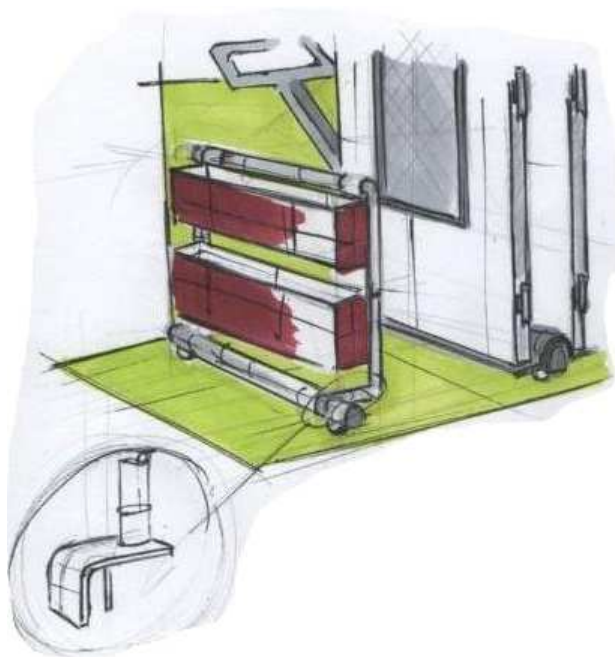
Konstrukční řešení vychází z analýzy tří variant v programu TechOptimizer a následném výběru prvků metodou morfologické matice. Kombinací těchto analýz byly vybrány nejvhodnější prvky s přihlédnutím na zjednodušení nebo přenesení funkce. U této varianty např. takto: válečky chrání povrch



Obr. D -1

dveří proti poškození, zároveň však nahrazují táhla, a tedy zajišťují dveře proti pohybu. Řízení prostřednictvím otočných kol s kladkou bylo nahrazeno všesměrovými koly, čímž se ušetřil prostor při otáčení samotných kol. Vertikální polohování (u analyzovaných variant je funkce vykonávána prostřednictvím hřídele a výklopného rámu) přešlo přímo na stacionární rám, výklopná část je ovládaná pákou v rozmezí 18° potřebných pro pohodlný

průjezd otvorem dveří. Horizontální polohování (výškové) vykonává obsluha prostřednictvím řídicí páky, která je napojená na ruční hydraulický zvedák. Skrze pákový mechanismus se celý vozík zvedá v rozmezí 5 cm. Způsob manipulace: obsluha vloží dveře ručně na lištu a zajistí je válečky. Zvedne vozík prostřednictvím hydraulického zvedáku a zamíří na stanoviště. Po příjezdu na stanoviště umístí dveře nad panty a



Obr. D -2

dveře spustí pomocí ruční páky umístěné na madle, odjede na další stanoviště a činnost opakuje. Dispozice zařízení je stanovena z předběžných výpočtů zabráňujících překlopení a zajišťujících snadný průjezd staveništěm. Z toho vychází nepříliš vhodně využitý prostor, proto jsou v těchto místech navrženy „kontejnery“ sloužící k odložení dvevního kování nebo ručního nářadí. Zařízení je určeno k přepravě dvou dveří. Toto zařízení vychází z analyzovaných konstrukcí a je zapotřebí operátora (dělníka) pro samotné vykonávání funkce. Z tohoto důvodu není navržena varianta vhodná k dalšímu řešení.

Příloha E – Příslušenství

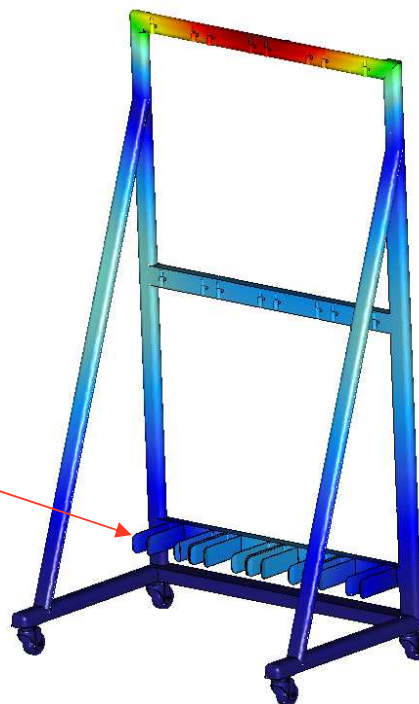
Zásobník (obr. E - 1) je nedílnou součástí zařízení, dispozičně je uzpůsoben k pohodlnému průjezdu budovou s možností využití výtahů. Konstrukce umožňuje přepravu až osmi kusů dveří.

Možnost využití paletovacího vozíku není ve všech situacích možná, zejména z důvodu dispozičních parametrů výtahu, proto je vhodnější využití zásobníku.

Robot odebírá dvojici dveří, zásobník tyto dveře udržuje v přímém směru s možností malého odklonu díky úchytům (A), které jsou opatřeny kobercovou podložkou k zamezení možného poškození. Zásobník byl podroben analýze v programu Pro Engenner, zatížení bylo vedeno přes simulované těžiště jednotlivých dveří na místo styku dveří a zásobníku. Výsledek je zobrazen dále, kde maximální napětí dosáhlo hodnoty 84 MPa místě spojení pantů a rámu. Průhyb dosáhl nejvyšší hodnoty 0,4 mm.



Obr. E -1 - Vozík



Obr. E – 2 - Průhyb

Příloha F – Spotřeba energie

V níže uvedené tabulce jsou uvedeny hodnoty použitých komponentů a následně výpočet minimální doby zařízení v provozu.

Zařízení	ks	Spotřeba proudu [A]	Spotřeba proudu celkem [A]	Spotřeba energie [W]
motory podvozek	2	11	22	660
aktuátory	2	2.5	5	120
lineární jednotka THK	2	1.4	2.8	67.2
modul Schunk	2	2.3	4.6	110.4
IR senzor	25	0.03	0.75	9
laserový skener	1	0.5	0.5	5
inklinometr	1	0.05	0.05	0.25
řídící systém	1	10	10	120
display	1	2	1.2	48
Celkem akční členy			34.9	957.6
Celkem ŘS + senzory			12.1	182.25

Tab. F - 1

Výdrž baterií pro akční členy:

$$t = \frac{160}{34,9 \cdot 0,6} = 7,64 \text{ hod}$$

k_m motory nepracují 100 % doby provozu, proto $k_m = 0,6$ [5]


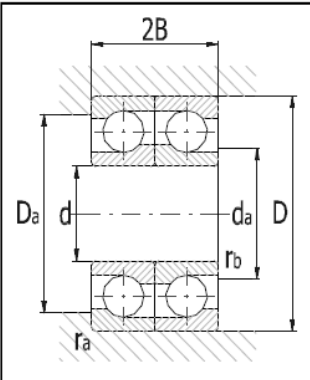
Výdrž baterií pro ŘS:

$$t = \frac{100}{12,1} = 8,3 \text{ hod}$$

Robot může vykonávat funkci 7,64 hod, tuto hodnotu je nutno ověřit v praxi, hlavním důvodem je (%) využití jednotlivých komponentů v průběhu plnění úkolu.

Příloha G – Výpočet ložisek s kosoúhlým stykem

Ložiska jsou umístěná v ložiskovém domku (obr. 34 – A). Skrze ložiska prochází osa, na kterou je připevněn efektor.

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Volba typu ložiska, zatížení ložiska									
1.1 Jednotky výpočtu		SI Units (N, mm, kW...)							
1.2 Typ ložiska									
		Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem jednořadá							
1.7 Zatížení ložiska									
1.8 Otáčky	n	1,0	[/min]						
1.9 Radiální zatížení	Fr	28913,0	[N]						
1.10 Axiální zatížení	Fa	100,0	[N]						
1.11 Součinitel přídatných dynamických sil		1							
1.12 Požadované parametry ložiska									
1.13 Trvanlivost ložiska	Lh	10000	[h]						
1.14 Součinitel statické bezpečnosti	s0	1,50							
1.3 Provedení ložiska									
1.4 Pár sdrúžených ložisek uspořádaných čely k sobě									
1.5									
1.6									
1.15 Přídavné dynamické síly									
1.16 <input checked="" type="radio"/> Žádné									
1.17 <input type="radio"/> Od ozubených převodů									
1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)									
1.19 Součinitel	fk	1,1 - 1,3	1,20	<input checked="" type="checkbox"/>					
1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory									
1.21 Součinitel	fd	1 - 1,2	1,10	<input checked="" type="checkbox"/>					
1.22 <input type="radio"/> Od řemenových převodů									
1.23 Klinové řemeny									
1.24 Součinitel	fb	1,9 - 2,5	2,20	<input checked="" type="checkbox"/>					
2.0 <input checked="" type="checkbox"/> Volba rozměrů ložiska									
2.1 Rozměry ložiska									
▲	ID	d	D	2B	C	C0	nr	nmax	Ložisko
▼	87	45,0	85,0	38,0	61800	56000	7000	9000	2 x 7209 BECBJ
2.2 Parametry ložiska									
2.3	Základní dynamická únosnost	C	61800	[N]					
2.4	Dynamické ekvivalentní zatížení	P	28968	[N]					
2.5	Základní trvanlivost	L10h	161830	[h]					
2.6	Základní statická únosnost	C0	56000	[N]					
2.7	Statické ekvivalentní zatížení	P0	28965	[N]					
2.8	Součinitel statické bezpečnosti	s0	1,93						
2.9	Dovolené radiální zatížení	Frmax	-	[N]					
2.10	Dovolené axiální zatížení	Famax	-	[N]					
2.11	Referenční otáčky	nr	7000	[/min]					
2.12	Mezní otáčky	nmax	9000	[/min]					
2.13	Ztrátový výkon	NR	0,14	[W]					
2.14	Váha ložiska	g	0,86	[kg]					
				d	45				
				D	85				
				2B	38				
				ramax	1				
				rbmax	0,6				
				Damax	78				
				damin	52				
									

Obr. G - 1

Příloha H – Výpočet osy všesměrových kol

1.0 Tvar, rozměry a zatížení nosníku

1.1 Jednotky výpočtu

SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Ukončení nosníku vlevo

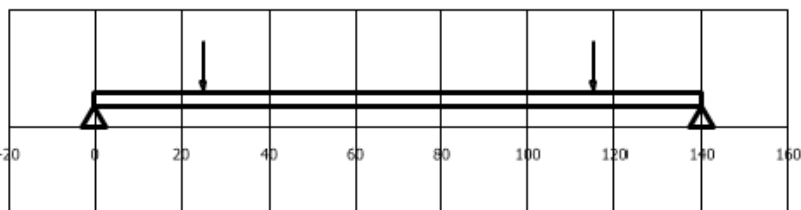
B...Podpora

1.3 Počet podpor mezi

0

1.4 Ukončení nosníku vpravo

B...Podpora



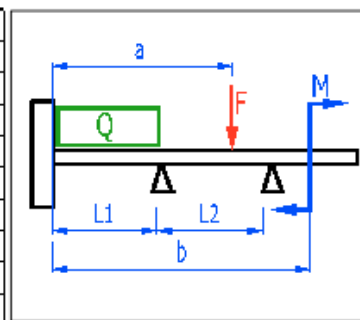
1.5 Pole nosníku číslo:

L1

1.6 Délka pole nosníku	L	140,0	2540,000	5080,0	0,0	0,0	0,0	[mm]
1.7 Spojité zatížení	Q		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	[N/mm]
1.8 Souřadnice počátku pole			140,0	2680,0	7760,0	7760,0	7760,0	[mm]

1.9 Zatížení nosníku

	a [mm]	F [N]	b [mm]	M [Nm]
Síla F1 / Moment M1	25,0	506,5	0,0	0,0
Síla F2 / Moment M2	115,0	506,5	0,0	0,0
Síla F3 / Moment M3	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F4 / Moment M4	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F5 / Moment M5	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F6 / Moment M6	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F7 / Moment M7	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F8 / Moment M8	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F9 / Moment M9	0,0	0,0	0,0	0,0
Síla F10 / Moment M10	0,0	0,0	0,0	0,0



2.0 Statické hodnoty profilu a materiálové hodnoty nosníku

2.1 Profil nosníku

2.2 Typ profilu

08...Kružnice (Počítaný)

2.3 Rozměr profilu

Prázdná tabulka

2.4 Uživatelské parametry profilu

Ne

2.5 Počet nosníků vedle sebe

1

2.6 Plocha

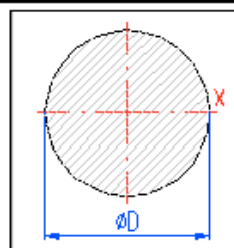
A 314,159 2654 [mm²]

2.7 Kvadratický moment k ose x

I_x 7853,98 1634 [mm⁴]

2.8 Průřezový modul v ohybu

S_x 785,398 1634 [mm³]



D 20,00 [mm]

2.9 Materiál nosníku

2.10 Seznam materiálů

Konstrukční ocel EC 3, EN 10025; Fe 430 (210000)

2.11 Hustota

γ 7850,0 [kg/m³]

2.12 Modul pružnosti v tahu

E 210000 [MPa]

2.13 Dovolené napětí v ohybu

σ_b 165 [MPa]

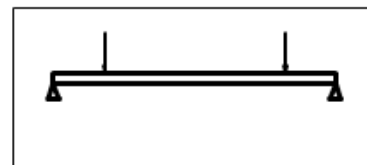
?

Kapitola výsledků

3.0 Výsledky výpočtu

3.1 Číslo podpory zleva	R1	R2			
3.2 Reakce v podporách	506,50	506,50			[N]

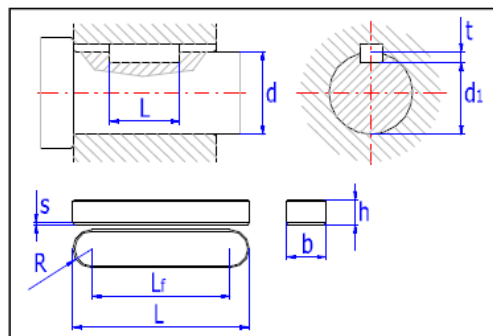
3.3 Ohybový moment Min. / Max.	M _o	0,00	12,66	[Nm]
3.4 Průhyb nosníku Min. / Max.	y	-0,018	0,000	[mm]
3.5 Ohybové napětí Min. / Max.	σ	0	16,1	[MPa]
3.6 Hmotnost nosníku	m	0,3		[kg]
3.7 Max. délka volného konce (vybočení)	L _{max}	0,0		[mm]
3.8 Relativní průhyb nosníku Max.	y	0,013		[%]



Obr. H - 1

Příloha I – Výpočet těsného pera

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Společné vstupní údaje			
1.1 Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)		
1.2 Přenášený výkon	P	[kW]	
1.3 Otáčky hřídele	n	[min]	
1.4 Krouticí moment	T	47,75 [Nm]	
1.5 Způsob zatížení, provozní parametry			
1.6 Charakter pohonu	Lehké rázy		
1.7 Typ zatížení	Lehké rázy		
1.8 Charakter provozu	Plně obousměrný		
1.9 Počet rozběhů v tisících	100		
1.10 Požadovaná životnost spoje	10000	[h]	
1.11 Provedení spoje, předběžný návrh průměru hřídele			
1.12 Provedení spoje	Pevný spoj		
1.13 Vnitřní průměr dutého hřídele	d_h	0,000 [mm]	
1.14 Požadovaná bezpečnost	S_F	1,70	
1.15 Minimální průměr hřídele	d_{min}	18,9 [mm]	
A		Přesná pera	
2.0 <input checked="" type="checkbox"/> Parametry spoje, materiál pera, návrh rozměrů			
2.1 Parametry spoje			
2.2 Typ pera	F ... CSN 022562		
2.3 Počet per	1		
2.4 Koeficient rozložení zatížení	K_L	1,00	
2.5 Celkový provozní koeficient	K_S	3,25	<input checked="" type="checkbox"/>
2.6 Materiál pera (min. pevnost v tahu) [tvrdost]			
2.7 B...Uhlíková ocel zušlechťená (500) [HB 220-270]			<input checked="" type="checkbox"/>
2.8 Mez pevnosti v tahu	R_{mmin}	500 [MPa]	
2.9 Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]	
2.10 Dovolené napětí ve smyku	τ_{Δ}	200 [MPa]	
2.11 Návrh rozměrů spoje			
2.12 Pera pro průměry	6 ~ 230	[mm]	
2.13 Min. průměr hřídele	d_{1min}	18,9 [mm]	
2.14 Průměr hřídele	d	45,000 [mm]	
2.15 Pero	8 x 7		<input type="checkbox"/>
2.16 Šířka / výška pera	b / h	8 7 [mm]	
2.17 Zaoblení pera / sražení hran	R / s	4 0,5 [mm]	
2.18 Parametry drážky v hřídeli	t / d_1	4,1 40,9 [mm]	
2.19 Minimální funkční délka pera	L_{fmin}	30,4 [mm]	
2.20 Minimální délka pera	L_{min}	38,4 [mm]	
2.21 Dovolený rozsah délek pera		20 ~ 90 [mm]	
2.22 Zvolená délka pera	L	40,000 [mm]	<input checked="" type="checkbox"/>
3.0 <input checked="" type="checkbox"/> Pevnostní kontroly spoje			
3.1 Kontrola hřídele na krut			
3.2 Dovolené napětí ve smyku	τ_{Δ}	200 [MPa]	
3.3 Srovnávací napětí	τ	11,6 [MPa]	
3.4 Bezpečnost		17,31	
3.5 Kontrola otláčení drážky hřídele			
3.6 Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]	
3.7 Srovnávací tlak	p	70,2 [MPa]	
3.8 Bezpečnost		1,85	
3.9 Kontrola pera na otláčení			
3.10 Dovolený tlak	p_D	130 [MPa]	
3.11 Srovnávací tlak	p	72,6 [MPa]	
3.12 Bezpečnost		1,79	
3.13 Kontrola otláčení drážky náboje			
3.14 Dovolený tlak	p_D	135 [MPa]	
3.15 Srovnávací tlak	p	72,6 [MPa]	
3.16 Bezpečnost		1,86	



Obr. I - 1

Příloha J – Cenová rozvaha

Vyhodnocení návratnosti zařízení je v tomto okamžiku návrhu velice složité zejména určení konečné ceny jednotlivých prvků, nicméně pro vyhodnocení přínosů byla sestavena modelová situace vycházející z praxe: osm kusů dveří se nachází ve vestibulu administrativní budovy, obsluha je musí dopravit do prvního nadzemního podlaží, kde se budou osazovat. Cestou může využít výtahu nebo schodiště. Vzdálenost mezi vestibulem a místem vykonávání funkce je 100m.

K vyhodnocení je využit ceník stavebních prací (**Tab. 2**).

Vyhodnocení:

Ruční osazování – obsluha využije paletovacího vozíku, přijede k výtahu, kde dveře naskládá do kabiny (dveře se v horizontální poloze do výtahu nevejdou). Na daném podlaží opakuje v opačném smyslu. Postupuje chodbou a dveře ručně osazuje.

Ruční vozíky – po okamžik vyložení z výtahu je postup stejný jako u předchozí situace. Místo vyložení = stanoviště, ze kterého obsluha postupně odebírá dveře, vkládá je do zařízení a osazuje na daném podlaží.

Robot – Obsluha dopraví zásobník na dané podlaží = stanoviště (odpadá překládání dveří do/z výtahu). Robot postupně odebírá dvojici dveří a osazuje je na daném podlaží (odpadá ruční manipulace a vkládání dveří).

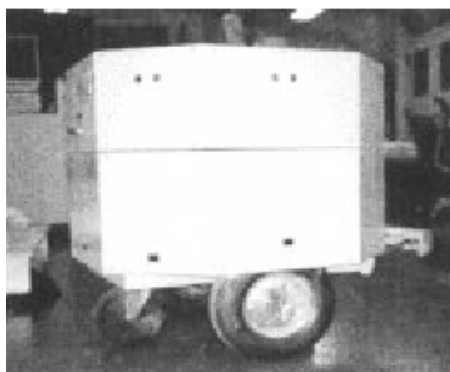
Čas potřebný na osazení je považován za konstantní a vychází z měření (*časová rozvaha činností str. 20*)

	Ruční	Ruční vozíky	Robot
Doprava [Kč]	324	126	15,9
Osazení [Kč]	2334,56	1876	1418,4
Celkem [Kč]	2658,56	2002	1434,3

Z výsledků je patrné snížení nákladů o 1224 Kč pro danou situaci. V cenách jsou započteny režijní náklady a náklady související s přepravou zařízení. Je nutné přihlédnout k aspektu odstranění opakující se fyzicky náročné monotónní práce a náklady s tím spojené v okamžiku, kdy je pracovník na nemocenské. Dále také možný zisk při zachování cen a využití robotu. V objemu 500 ks dveří tato hodnota činí 76 500 Kč. Z využitím předpokládaných cen komponent použitých v konstrukci (500 000 Kč) to znamená, že se zařízení „zaplatí“ po osazení 7 budov s tímto objemem dveří. Tato hodnota je pouze orientační, zde je nutné přihlédnout na možnost odpisů, opotřebení, oprav a vyplývajících režijních nákladů.

Příloha K – Diferenciální řízení a všesměrová kola (omniwheel)

Diferenciální řízení se jeví jako nejvhodnější, v případě využití robotu ve „stísněných prostorech“ budov, kde je potřeba dostatečné mobility. Program Goldfire Innovator poskytl řadu konstrukčních variant s využitím tohoto typu řízení. Z těchto možností byly vybrány dva typy, které byly následně porovnány. Hlavním rozdílem je typ použité podpory v zadní části, v prvním případě to jsou standardní kola s otočnou kladkou (**obr. K - 1**) kdežto v druhém případě jsou využita volně uložená všesměrová kola (**obr. K - 2**). Hlavní výhodou druhé varianty je úspora místa při otáčení robotu a možnost polohování takovýchto kol bez ztráty vlastností, které je u nové konstrukce aplikováno.



Obr. K - 1



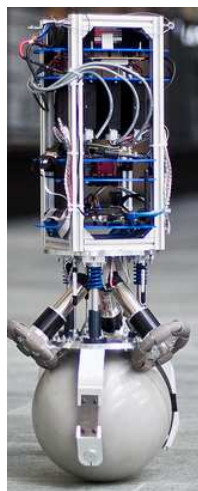
Obr. K - 2

Příloha L – Omni - Ball

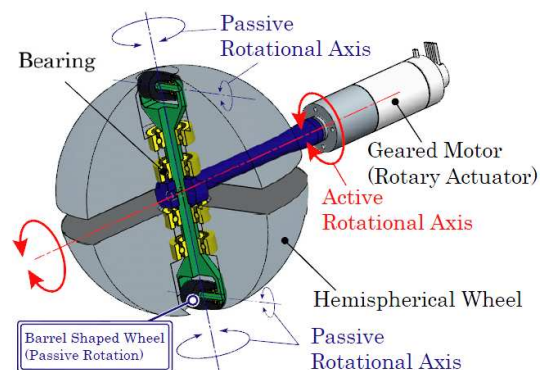
Technologie Omni-Ball je možnou alternativou všesměrových kol. Konstrukce opatřené tímto typem řízení disponují obratností a možností pohybovat se v libovolném směru z libovolné výchozí polohy. Uplatnění této technologie je zejména u invalidních vozíků, které se pohybují na frekventovaných místech, v obytných domech nebo nemocnicích. Jako u všesměrových kol je i zde několik typů konstrukčních řešení.



Obr. L - 1



Obr. L - 2



Obr. L - 3